

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**PROPOSTA PRELIMINAR DE EQUALIZAÇÃO DE FLUXOS NA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE BRASÍLIA SUL –
ETEB SUL**

GUILHERME ALVES PASSOS

ORIENTADORA: ARIUSKA KARLA BARBOSA AMORIM

Co-ORIENTADOR: VINÍCIUS MENDES BERTOLOSSI

PROJETO FINAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

BRASÍLIA/DF: JULHO/2016

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**PROPOSTA PRELIMINAR DE EQUALIZAÇÃO DE FLUXOS NA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS BRASÍLIA SUL – ETEB
SUL**

BRASÍLIA/DF

GUILHERME ALVES PASSOS

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.**

**ARIUSKA KARLA BARBOSA AMORIM, D.Sc - UnB
(ORIENTADORA)**

**MARCO ANTONIO ALMEIDA DE SOUZA, PhD (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**ANA MARIA DO CARMO MOTA, MSc
(EXAMINADORA EXTERNA)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 04 de Julho de 2016.

FICHA CATALOGRÁFICA

PASSOS, GUILHERME ALVES

Proposta Preliminar de Equalização de Fluxos na Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Sul – ETEB Sul [Distrito Federal] 2016.

(ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2016)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1.Equalização de fluxos

2.Regularização de vazões

3.Estudo de caso

4. Tratamento de águas residuárias

I. ENC/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PASSOS, G. A. (2016). Proposta Preliminar de Equalização de Fluxos na Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Sul – ETEB Sul. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 84p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Guilherme Alves Passos

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL Proposta Preliminar de Equalização de Fluxos na Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Sul – ETEB Sul. GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2016

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Guilherme Alves Passos
SQN 108 Bloco D, Ap. 303.

70.744-040 Brasília/DF – Brasil

RESUMO

PROPOSTA PRELIMINAR DE EQUALIZAÇÃO DE FLUXOS NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE BRASÍLIA SUL – ETEB SUL

O crescimento populacional ao redor do mundo tem aumentado a poluição nos corpos hídricos devido, principalmente, aos despejos de águas residuárias *in natura*. Por essa razão, tem se tornado cada vez mais necessário o tratamento de efluentes domésticos e industriais antes do lançamento em corpos receptores. Em decorrência das exigências da legislação, que nos últimos anos tem sido mais restritiva, e das características dos corpos receptores, destaca-se o desenvolvimento de novas tecnologias e o melhoramento da eficiência dos tratamentos já existentes. Como uma forma de otimizar o sistema de tratamento de esgotos domésticos em estações de tratamento de esgoto (ETE) pode-se utilizar a equalização de vazões para que haja aumento na capacidade de tratamento desses efluentes. Esse sistema confere maior flexibilidade ao processo de tratamento através de uma minimização das flutuações de vazões ao longo do dia, garantindo também, entre outras vantagens, maior estabilidade do processo de tratamento como um todo. O presente trabalho realizou um estudo de caso na Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Sul – ETEB Sul com o objetivo principal de avaliar a possibilidade de implantação do sistema de equalização de vazões, visando analisar os dados e estruturas físicas, elaborar uma proposta de implantação desse sistema. A metodologia do trabalho avaliou o comportamento sazonal e horário das vazões afluentes, realizou o dimensionamento dos tanques de equalização e sugeriu uma forma de operar o sistema.

Dentre os principais resultados obtidos para o trabalho pode-se dizer que o processo de equalização de vazões provavelmente será muito importante para o aumento da eficiência do processo de tratamento como um todo dentro da ETEB Sul. O sistema de equalização foi dimensionado com base nas vazões médias horárias e foi observado que a equalização seria capaz de realizar suas funções principais de garantir estabilidade e flexibilidade ao sistema de tratamento de efluentes e também conseguiria reduzir a quantidade de *by-pass* dentro da ETEB Sul, desempenhando dessa maneira mais uma função de extrema importância dentro da unidade. Após as devidas avaliações e considerações, conclui-se que o sistema de equalização de vazões provavelmente funcionará de forma eficiente na ETEB Sul caso seja decidido por sua implementação.

PALAVRAS-CHAVE: equalização de fluxos, regularização de vazões, estudo de caso, Tratamento de águas residuárias, esgotos domésticos

ABSTRACT

FLOW EQUALIZATION FEASIBILITY STUDY IN SOUTH BRASÍLIA SEWAGE TREATMENT PLANT

The increasing of world population is leading to higher levels of pollution in water bodies especially due to direct raw wastewater discharge. As a result, it is necessary to reach a higher treatment efficiency for industrial and municipal wastewater before its final discharge. Given the legislations, which has been more restrictive in the past years, and the standard levels and concentration limits of constituents to be discharged in water bodies new technologies have been used to improve existing processes and create new ways of dealing with wastewater. Flow equalization is a technique that can be used to improve the efficiency in a Wastewater Treatment Plant (WTTP) by increasing the treatment capacity of an existing plant. This operation grants a greater stability and flexibility to the whole process of treating wastewater by minimizing the fluctuations of flow influents during the day. This paper is mainly a case study regarding the possibility of implementation of flow equalization in South Brasília Sewage Treatment Plant. The paper methodology was based on the analysis of actual plant inflow data and seasonal variations. The determination of required volume to achieve equalization was determined by Rippl Diagram using the actual plant hydrograph.

The main results achieved in are that probably the flow equalization will be really important to increase the WTTP efficiency. The equalization system was determined based on diurnal flow pattern. Not only this process will be able to achieve its main objective of equalize the flow and grant stability and flexibility to the process but will also be able to reduce the necessity of by pass inside the plant. Finally, after analysing the main variables for the process it can be concluded that the flow equalization system is possibly going to be a success.

KEY WORDS: flow equalization, flow regularization, case study, municipal wastewater treatment.

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	OBJETIVOS	13
2.1.	OBJETIVO GERAL	13
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
3.1.	DEFINIÇÃO DE EQUALIZAÇÃO DE FLUXOS	14
3.2.	CARACTERÍSTICAS DOS FLUXOS AFLUENTES.....	14
3.3.	TIPOS DE SISTEMAS COLETORES DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	16
3.2.1.	Sistema unitário ou misto	18
3.2.2.	Sistema separador	19
3.4.	VAZÕES DE PROJETO	20
3.5.	LOCALIZAÇÃO DOS TANQUES E EQUALIZAÇÃO	23
3.6.	CARACTERÍSTICAS DE PROJETO ASSOCIADOS À IMPLEMENTAÇÃO DE EQUALIZAÇÃO DE FLUXOS.....	23
3.6.1.	Efeitos resultantes da implantação de estruturas de equalização de fluxos.....	23
3.6.2.	Estruturas de controle de fluxos	25
3.6.2.1.	Arranjo <i>in line</i> (em linha).....	25
3.6.2.2.	Arranjo <i>off line</i> (em paralelo).....	26
3.7.	OPERACIONALIZAÇÃO DO PROCESSO	27
3.7.1.	Divisão alternada de fluxo	27
3.7.2.	Divisão intermitente de fluxo	28
3.7.3.	Fluxo combinado completamente misturado.....	28
3.7.4.	Fluxo fixo completamente misturado	29
3.8.	MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE EQUALIZAÇÃO 31	
3.8.1.	Balanço simples de massa	32
3.8.2.	Balanço de concentração	36
3.9.	EQUALIZAÇÃO NA REDE DE COLETA	38
4.	METODOLOGIA.....	39
4.1.	ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	39
4.1.1.	ETAPA 1: Diagnóstico da ETEB-Sul e ETEB-Norte	40
4.1.2.	ETAPA 2: Dimensionamento dos tanques de equalização	40

4.1.3.	ETAPA 3: Avaliação das estruturas físicas, local de implantação e definição do arranjo a ser utilizado	41
4.1.4.	Etapa 4: Sugestões quanto à implantação da estrutura de equalização de vazões	41
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	42
5.	DISCUSSÕES E RESULTADOS.....	45
5.1.	LEVANTAMENTO DOS DADOS INICIAIS.....	45
5.1.1.	Vazões médias	46
5.1.2.	Variação sazonal pluviométrica no DF e sua influência nas vazões afluentes à ETEB SUL.....	49
5.1.3.	Vazões máximas	55
5.2.	DIAGRAMA DE MASSA – ETEB SUL	57
5.2.1.	Diagrama de Massa para o período chuvoso	60
5.3.	VOLUME DISPONÍVEL – ESTRUTURAS “ANTIGAS” ETEB SUL	63
5.4.	AERAÇÃO E MISTURA	66
5.5.	MODO OPERACIONAL DAS ETE BRASÍLIA NORTE E SUL	70
5.6.	PROPOSTA PRELIMINAR DA EQUALIZAÇÃO DE FLUXOS DA ETE BRASÍLIA SUL	72
6.	CONCLUSÕES	74
7.	RECOMENDAÇÕES.....	76
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS EM APUD	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Sistemas coletivos de esgotamento sanitário

Figura 3.2 - Sistema de esgotamento unitário ou misto (Fonte: Von Sperling, 2014)

Figura 3.3 – Sistema de esgotamento separador absoluto (Fonte: Von Sperling, 2014)

Figura 3.4 – Hidrograma típico de uma ETE. (Fonte: Von Sperling, 2014)

Figura 3.5 – Sistema de equalização de fluxo em linha com sistema de equalização situado após tratamento preliminar. (Fonte: Nakazato, 2005).

Figura 3.6 – Sistema de equalização de fluxo em paralelo com sistema de equalização situado após tratamento preliminar. (Fonte: Nakazato, 2005).

Figura 3.7 – Sistema de operação de fluxo: Divisão alternada de fluxos

Figura 3.8 – Sistema de operação de fluxo: Divisão intermitente de fluxos

Figura 3.9 – Sistema de operação de fluxo: Fluxo combinado completamente misturado

Figura 3.10 – Sistema de operação de fluxo: Fluxo fixo completamente misturado

Figura 3.11 – Balanço de massa simples para vazão

Figura 3.12 – Balanço de massa em linha

Figura 3.13 – Balanço de massa em paralelo

Figura 3.14 – Diagrama de massa (Fonte: NPTEL, 2014 – Modificado)

Figura 3.15 – Volume do reservatório – (Fonte: NPTEL, 2014 – modificado)

Figura 4.1 - Etapas de elaboração do Projeto Final 2 em Engenharia Ambiental

Figura 4.2 - ETE Brasília Sul. (Fonte: SIESG/CAESB – 2012)

Figura 4.3 – Fluxograma da ETE Brasília Sul. (Fonte: SIESG/CAESB – 2008)

Figura 5.1 – Hidrograma ETE Sul para os anos de 2011 (A), 2012 (B), 2013(C), 2014 (D), 2015 (E).

Figura 5.2 – Hidrograma médio comparativo das vazões afluentes médias à ETEB Sul no período de 2011 a 2015

Figura 5.3 – Hidrograma comparativo das vazões afluentes médias à ETEB Sul no período de 2011 a 2015

Figura 5.4 – A - Chuva acumulada mensal x nº de dias com chuva no ano de 2011

(Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016)

Figura 5.4 – B - Chuva acumulada mensal x nº de dias com chuva no ano de 2012.

(Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016)

Figura 5.4 – C - Chuva acumulada mensal x nº de dias com chuva no ano de 2013.

(Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016)

Figura 5.4 – D - Chuva acumulada mensal x nº de dias com chuva nos anos de 2014.

(Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016)

Figura 5.4 – E - Chuva acumulada mensal x nº de dias com chuva no ano de 2015.

(Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016)

Figura 5.3 – Hidrograma comparativo das vazões afluentes médias à ETEB Sul no período de 2011 a 2015

Figura 5.6 – Hidrograma comparativo das vazões médias e máximas horárias da ETEB Sul entre os anos de 2011 a 2015

Figura 5.7 – Diagrama de massa com base nas vazões médias horárias dos anos de 2011 a 2015 - ETEB Sul.

Figura 5.8 – Diagrama de massa das vazões médias horárias para o período chuvoso no período de 2011 a 2015– ETEB Sul

Figura 5.9 – Vista aérea das unidades da antiga da ETEB Sul. (Fonte: Google Earth, 2016)

Figura 5.10 – Fluxograma da proposta preliminar da equalização de fluxos na ETEB- Sul.

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Resultados de DBO *per capita* em estudo realizado no Estado de São Paulo (Fonte: Afini Júnior, 1989 - modificado)

Tabela 3.2 – Recomendações do valor de DBO a serem utilizados de acordo com o porte da cidade. (Fonte: Afini Júnior, 1989 - modificado)

Tabela 3.3 – Tipos de sistema de coleta de águas residuárias, extensão da rede e sua composição percentual em relação ao sistema de coleta de esgotos no Brasil e número de municípios atendidos por cada sistema coletor. (Fonte: IBGE - PNSB, 2010, modificada)

Tabela 3.4 – Quadro comparativo entre as principais vantagens e desvantagens dos sistemas de equalização de fluxos

Tabela 5.1 – Médias horárias das vazões afluentes à ETEB-Sul no período de 2011 a 2015. (Fonte: CAESB, 2016)

Tabela 5.2 – Vazões médias horárias dos períodos chuvoso e de seca dos anos de 2011 a 2015

Tabela 5.3- Comparação percentual entre a vazão média horária nos períodos chuvoso e de estiagem

Tabela 5.4. - Comparação das vazões médias e máximas horárias.

Tabela 5.5 – Dados para construção do diagrama de massa para vazão média.

Tabela 5.6 – Dados para construção do diagrama de massa para o período chuvoso

Tabela 5.7 – Volume útil disponível nas estruturas físicas, número de unidades disponíveis e volume útil total dessas estruturas na ETE Brasília Sul.

Tabela 5.8 – Relação dos volumes total disponível, mínimo necessário para realizar equalização e sugestão de unidades a serem utilizadas.

Tabela 5.9 – Características das vazões afluentes à ETE Brasília Sul – 2010 – 2015.

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

A/M – Relação Alimento/Microrganismos

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

DBO – Demanda bioquímica de oxigênio

DP - Decantador primário

DQO – Demanda química de oxigênio

DS- Decantador secundário

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE - Estação de Tratamento de Esgotos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NBR – Norma Brasileira aprovada pela ABNT

PNSB – Plano Nacional de Saneamento Básico

TA – Tanque de Aeração

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento

SS – Sólidos Suspensos

SST – Sólidos suspensos totais

USACE - United State Army Corps of Engineers

USEPA – United States Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

1. INTRODUÇÃO

A situação brasileira em relação à coleta e tratamento de esgotos tem melhorado nas últimas décadas, mas ainda está longe do cenário ideal. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS, 2013), apenas 48,6% da população brasileira tem seu esgoto coletado e cerca de 70% desse esgoto recebe algum tipo de tratamento. A região Centro-Oeste possui o índice de tratamento dos esgotos coletados de 91,6% (SNIS, 2013) sendo que no Distrito Federal desde o ano de 2006, 100% dos esgotos coletados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB são tratados.

Os esgotos sanitários domésticos são compostos, em geral, por 99,9% de água e 0,1% de sólidos sendo que, a matéria orgânica compõe a maior parte desses sólidos. O restante é composto por materiais como areia, sólidos grosseiros, sólidos sedimentáveis e sólidos dissolvidos (Von Sperling, 2014). Além destes constituintes, destaca-se a presença de macronutrientes, especificamente nitrogênio e fósforo que, quando lançados em corpos receptores, podem desencadear processo de eutrofização. O despejo de matéria orgânica em corpos hídricos contribuirá para o consumo do oxigênio livre disponível no meio, resultando em impactos negativos para os ecossistemas aquáticos. O lançamento de esgotos sanitários domésticos *in natura* é um fator preocupante que pode trazer sérios problemas ao corpo receptor, que por sua vez impactará a biota aquática, equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, saúde pública, entre outros fatores.

Devido ao grande volume de esgotos gerados (aproximadamente 80% da água consumida) e dos problemas associados a ausência de seu tratamento, fica clara a importância do tratamento desses efluentes. Os sólidos presentes nas vazões afluentes às Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) são removidos por processos físicos, químicos e biológicos, sendo que os sólidos grosseiros e a areia são removidos no tratamento preliminar, em geral, utilizando-se respectivamente o gradeamento de barras e a caixa de areia. O tratamento primário ocorre após o tratamento preliminar e é comumente composto por decantadores primários, tendo como principal função a remoção de partículas menores, que não foram removidas no tratamento preliminar, e que são passíveis de remoção por processo físico de sedimentação. O tratamento secundário é considerado a parte mais importante de uma ETE e seu principal

objetivo consiste na remoção de matéria orgânica. Algumas estações de tratamento contam ainda com a utilização de tratamento terciário que tem como uma das metas a remoção de nutrientes, principalmente de fósforo e nitrogênio que, em grandes quantidades contribuem fortemente para o fenômeno de eutrofização em lagos e reservatórios.

Em uma estação de tratamento de esgotos é comum que haja variação de vazões ao decorrer do dia e que essas vazões sejam superiores no período diurno quando comparadas com o período noturno. Essa variação nas vazões afluentes pode causar problemas operacionais na estação e também sobrecarga nas unidades de tratamento. Portanto, pode ser imprescindível a instalação de unidades de equalização de vazões que tem como objetivo primordial manter uma taxa constante de vazões e de constituintes para as demais unidades de tratamento. É um processo de mitigação da variação das vazões através de uma unidade do sistema capaz de armazenar o esgoto nos momentos em que ela vem com altas vazões e liberar esse fluxo quando as vazões são inferiores às capacidades nos processos de tratamento a jusante. Dentre os benefícios desse sistema estão a redução na sobrecarga das demais estruturas da ETE, redução da produção de lodos, redução de custos (consumo de energia, produtos químicos, entre outros), maior estabilidade e confiabilidade no sistema, entre outros (USEPA, 1979; Metcalf & Eddy, 2016).

O presente trabalho realizará um estudo de caso na Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Sul (ETEB-Sul). A Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Norte (ETEB-Norte) possui o sistema de tratamento de esgotos muito similar à ETEB-Sul, no entanto, a ETEB-Norte possui sistema de equalização de vazões já implementado. Esse sistema confere maior flexibilidade ao processo de tratamento através de uma minimização das flutuações de vazões ao longo do dia. Uma parcela das vazões afluentes a ETE são desviadas para os tanques de equalização, onde ficam estocadas. Esse volume estocado retorna ao fluxo principal de tratamento nos horários de baixas cargas hidráulicas de forma a compensar as variações diárias de vazão. Fomentado pelas melhoras que esse sistema apresentou na ETEB-Norte, este trabalho avaliará a viabilidade técnica de implantação de unidades de equalização na ETEB-Sul (Luduvic, 2011).

A ETEB-Norte tem utilizado a equalização de vazões, principalmente, para garantir maior estabilidade ao sistema, demonstrando dessa maneira a importância de se avaliar a implantação da equalização de vazões também na ETEB-Sul.

O sistema de equalização de vazões também reduz a necessidade de utilização do *by-pass*, reduzindo dessa maneira a quantidade de esgoto não tratado que é despejada no corpo receptor quando ocorrem eventos extremos que acarretam cargas hidráulicas excessivamente altas. O *by-pass* é essencial para o funcionamento da ETE, mas é fundamental que sejam utilizadas técnicas para que se possa reduzir a quantidade de vezes necessárias de se utilizar o *by-pass* e aumentar a capacidade de tratamento das ETEs.

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo principal a proposição preliminar de um sistema de equalização de fluxos na Estação de Tratamento de Esgotos de Brasília Sul –ETEB-Sul.

2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho em questão são:

- Análise das flutuações diárias e sazonais de vazões;
- Análise e avaliação da capacidade de implantação do sistema de equalização de vazões na ETEB SUL;
- Avaliar a melhor forma de implantação do sistema de equalização de vazões;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1.DEFINIÇÃO DE EQUALIZAÇÃO DE FLUXOS

O esgoto afluente as ETEs estão sujeitos a alterações de vazão, poluentes e características físicas, químicas e biológicas. A equalização de fluxos é uma etapa do processo de tratamento de águas residuárias que tem como finalidade amortecer essa variação de vazões fazendo com que estas sejam aproximadamente constantes ao longo do tempo. Em geral as estruturas de equalização estão situadas logo após as unidades do tratamento preliminar, como gradeamento e caixas de areia.

A equalização de fluxos atenua flutuações de vazões que, de maneira geral, são superiores no período diurno e possuem seu valor reduzido no período noturno. Uma das principais vantagens da utilização dessa técnica é de preservar as estruturas a jusante na estação de tratamento e diluir o esgoto bruto no tanque de equalização que, por sua vez, já possui efluente armazenado.

Segundo Nakazato (2005), a utilização de equalização de vazões para tratamento de águas residuárias tem sido pouco utilizada no Brasil, em sua maioria devido ao alto investimento e o desconhecimento dos seus benefícios financeiros e ambientais, assim como o próprio desconhecimento das características da rede coletora.

Alguns parâmetros básicos necessários para o dimensionamento dessas unidades incluem o volume e as dimensões do tanque de equalização a ser construído, quantidade necessária de mistura e aeração, hidrograma de vazões afluentes a estação, entre outros.

3.2. CARACTERÍSTICAS DOS FLUXOS AFLUENTES

As características dos fluxos afluentes são fortemente influenciadas pelas tecnologias implantadas no sistema de coleta, costumes da comunidade usuária, região atendida, atividades desenvolvidas, nível socioeconômico e cultural, entre outros. É importante frisar que a vazão de água a ser considerada na ETE é a vazão efetivamente consumida e não a vazão produzida pela Estação de Tratamento de água (ETA), pois, devido as perdas ao longo das tubulações (entre

30% a 50% em geral), as vazões efetivamente consumidas são inferiores às aquelas produzidas nas ETAs (Von Sperling, 2014).

A mudança de hábito da população atendida tem mudado os parâmetros clássicos de qualidade do efluente doméstico como contribuição unitária de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e SS (Sólidos Suspensos), como é ressaltado por Jordão e Pessoa (2014), que apontam que em centros mais desenvolvidos a população tem mudado o costume de depositar restos de alimentos nas lixeiras e passou a despejar nas pias que são dotadas de trituradores embutidos, aumentando assim os níveis de DBO de 54g.hab/dia (utilizados na literatura internacional adotado inicialmente por Karl Imhoff (Afini Júnior, 1989) e recomendado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT na ausência de dados mais precisos) para valores por volta de 80 – 90 g.hab/dia e os valores de SS de 90g.hab/dia para valores na faixa de 90 – 100 g.hab/dia.

Em um estudo realizado por Hazen & Sawyer (1966, *apud* Afini Júnior, 1989) apresenta os valores representativos de contribuição de DBO da população brasileira (especificamente no final década de 60 no estado de São Paulo) e apresenta também recomendações quanto aos valores a serem adotados para cidades de pequeno, médio e grande porte (sem dizer no entanto qual faixa de habitantes configura cada uma dessas classificações). Os resultados obtidos são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 3.1 e 3.2.

Tabela 3.1 – Valores de DBO *per capita* para municípios do estado de São Paulo
(Fonte: Afini Júnior, 1989 - modificado)

Zona de estudo	DBO per capita (g/hab.dia)	População (Habitantes)
Leopoldina	59	650 000
Santa Cecília	72	105 000
Bela Vista	75	95 000
Indianópolis	49	95 000
Ipiranga	100	22 000
Vila Maria	75	22 500
Santo Amaro	101	8 500

Tabela 3.2 – Recomendações do valor de DBO a serem utilizados de acordo com o porte da cidade. (Fonte: Afini Júnior, 1989 - modificado)

Tipos de cidades	DBO per capita (g/hab.dia)
Pequenas	45
Médias e Grandes	60
Grandes	75

3.3. TIPOS DE SISTEMAS COLETORES DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Von Sperling (2014) divide os sistemas coletivos de esgotamento sanitário em sistema unitário ou sistema separador - que por sua vez pode ser do tipo convencional ou condominial – (Figura 3.1). Na prática o que de fato ocorre é que parte da água de chuva que escorre por calçadas, telhados, áreas interiores impermeabilizadas e as vazões clandestinas juntamente com águas de infiltração do subsolo acabam entrando no sistema de coleta de esgotos. Dessa forma, Alem Sobrinho & Tsutiya (2000) intitulam, ainda, um terceiro sistema de coleta, denominado sistema separador parcial no qual uma parcela das águas pluviais se mistura as águas residuárias.

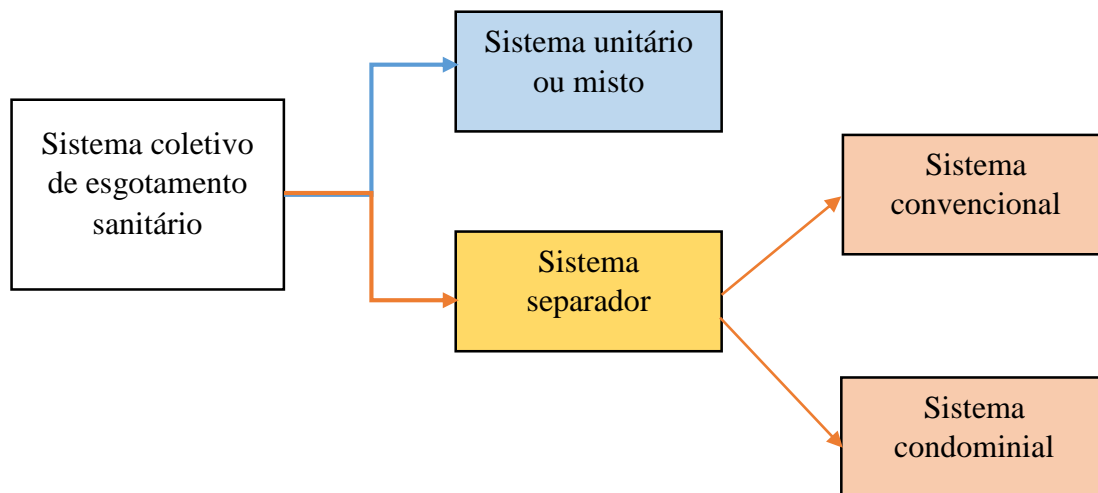


Figura 3.1 – Sistemas coletivos de esgotamento sanitário

O Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB) elaborado no ano de 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) se baseia nas literaturas clássicas para classificar os sistemas coletores de esgotamento sanitário, classificando-se em sistema unitário, separador e rede condominial e a partir daí, define as extensões de cada um desses sistemas coletores para o país (Tabela 3.3).

- Sistema Unitário ou Misto: Quando a rede pública destinada a captação de águas pluviais também é utilizada como forma de transporte de esgoto sanitário;
- Sistema Separador: Quando as águas residuárias escoam em tubulações da rede pública separadamente das tubulações destinadas às águas pluviais;
- Rede condominial: Sistema semelhante ao separador convencional, porém o projeto é realizado no interior de condomínios (prédios, quadras, quarteirões) e, portanto, a tubulação utilizada é inferior àquela adotada no sistema convencional.

Tabela 3.3 – Tipos de sistema de coleta de águas residuárias, extensão da rede e sua composição percentual em relação ao sistema de coleta de esgotos no Brasil e número de municípios atendidos por cada sistema coletor.
(Fonte: IBGE - PNSB, 2010, modificada)

Tipo de rede	Extensão (km)	Contribuição para o sistema (%)	Número de Municípios atendidos
Unitária ou mista	449556	7	977
Separador convencional	5667869	89	2440
Separador condominial	261570	4	185

O Brasil tem a maior parte de extensão de sua rede (89%) construída por sistema separador absoluto. Sendo que os outros 11% são compostos por 7% de rede unitária ou mista e 4% por rede do tipo separador condominial (Tabela 3.3). O grande problema que o país enfrenta é que grande parte da rede que foi inicialmente concebida como separador absoluto recebe ligação clandestina de águas pluviais, o que gera problemas no sistema, especialmente nas estações elevatórias como é frisado por Nakazato (2005).

O tipo de rede coletora tem grande impacto nas vazões afluentes a ETE e também no dimensionamento da própria estação. De acordo com Jordão e Pessoa (2014), quando se trata

de um sistema separador absoluto a contribuição das vazões clandestinas de águas pluviais – também conhecidas como vazões parasitárias – são consideradas apenas para o dimensionamento de extravasadores e não são consideradas no dimensionamento dos coletores em si.

3.2.1. Sistema unitário ou misto

São dimensionados para suportar toda a carga dos efluentes domésticos somados a totalidade do escoamento superficial e de águas pluviais (com tempo de retorno pré-determinados), ou seja, o esgoto doméstico e as águas pluviais são encaminhadas ao seu destino final por meio da mesma canalização (Figura 3.2). O tempo de retorno leva em consideração a possibilidade de ocorrência de um evento de chuva. As chuvas que forem de magnitude superior àquela projetada devem sair por pontos específicos da tubulação que devem estar presentes em vários pontos da rede para que não haja grandes transtornos. Em geral, esse tipo de sistema de coleta projeta a capacidade de coleta majoritariamente baseados nas águas pluviais. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency – USEPA, 1979), os impactos hidráulicos gerados por esse tipo de sistema nas estações de tratamento dependerão de cinco fatores:

- A proporção de sistema coletor combinado que contribuem para o sistema de coleta;
- As características de fluxo das águas residuárias;
- A maneira como se comporta a densidade do fluido;
- A dimensão da rede coletora e as características hidráulicas da rede;
- Padrões de chuva;

Pelo fato desse sistema ser dimensionado para coletar as vazões de águas pluviais e de esgotos domésticos, as dimensões das canalizações devem ser grandes e, portanto, os custos iniciais são elevados. Além disso, existe ainda o risco de refluxo de esgoto para as residências em períodos de cheias. Muitas vezes as vazões afluentes às ETEs serão de grande volume, impossibilitando seu tratamento; dessa forma seria necessário o extravasamento de uma parte da vazão sem tratamento. De acordo com Von Sperling (2014), é possível ocorrência de mau cheiro proveniente das bocas de lobo e demais pontos do sistema, e alerta sobre o regime de chuvas torrenciais em várias regiões do país, o que demandaria tubulações de diâmetros muito

elevados, com capacidade ociosa nos períodos secos. Outro fator agravante apontado por Alem Sobrinho & Tsutiya (2000) é que, devido a mistura das águas pluviais com as águas residuárias haverá necessidade da construção de grandes decantadores devido ao fato de que grande parte da vazão deixa de sofrer depuração biológica, enquanto que outra parcela que se apresenta ao tratamento secundário se apresenta com variados graus de diluição.

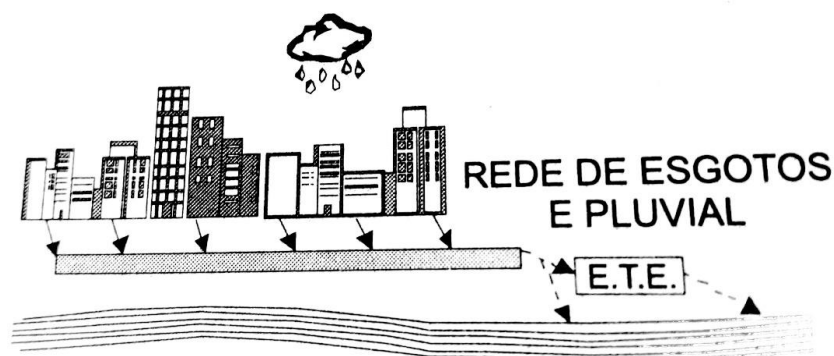


Figura 3.2 - Sistema de esgotamento unitário ou misto (Fonte: Von Sperling, 2014)

3.2.2. Sistema separador

Esse tipo de sistema é projetado para coletar somente águas residuárias domésticas, ou seja, os esgotos sanitários e as águas de chuva são conduzidas ao destino final por meio de tubulações distintas (Figura 3.3). Portanto seu dimensionamento leva em consideração somente estimativas para as vazões de pico, ou seja, a vazão do dia de maior consumo do horário de maior consumo, adicionada a uma tolerância para infiltrações e fluxos inesperados.

Como esse tipo de sistema não é projetado para coletar águas pluviais, ele apresenta a vantagem de não necessitar de tubulações tão grandes quanto aquelas que serão necessárias no sistema coletor combinado (item 3.2.1), abaixando assim os custos iniciais do projeto. Além disso, as águas pluviais não prejudicam a depuração dos esgotos sanitários. Von Sperling (2014) cita o fato de que não ocorreria extravasamento de esgotos nos períodos de chuvas mais intensos. Alem Sobrinho & Tsutiya (2000) atentam à necessidade de controle eficiente para evitar que a água pluvial, proveniente de telhados e áreas impermeabilizadas sejam destinadas para as redes de esgoto. No entanto, esse controle não existe na maioria das cidades brasileiras.

O sistema tipo separador absoluto se divide ainda em sistema convencional (utilizado na maioria das cidades) e o sistema simplificado, como é o caso de sistemas condominiais que vem sendo utilizados nas últimas décadas.

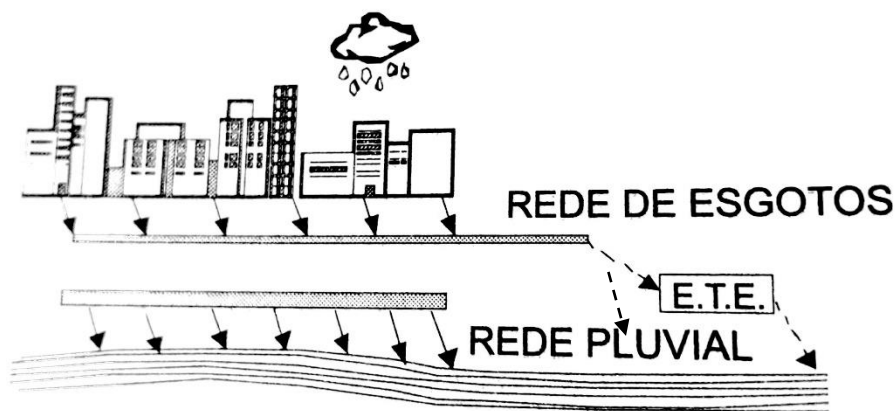


Figura 3.3 – Sistema de esgotamento separador absoluto (Fonte: Von Sperling, 2014)

3.4.VAZÕES DE PROJETO

As vazões afluentes que chegam até a ETE são derivadas dos efluentes domésticos acrescidos das infiltrações de águas subterrâneas na rede de coleta de esgotos (devido a defeitos no sistema) e também infiltração de águas de chuva que podem acabar se misturando. A variação dessas vazões pode ser avaliada através do hidrograma de vazões na entrada da ETE. Geralmente os horários de maior vazão são os horários de manhã e do almoço, nos quais ocorre maior uso de banheiros, cozinhas e demais atividades residenciais e comerciais. De forma inversa, as menores vazões ocorrem no período noturno. Um diagrama típico da variação de vazões é apresentado na Figura 3.4.

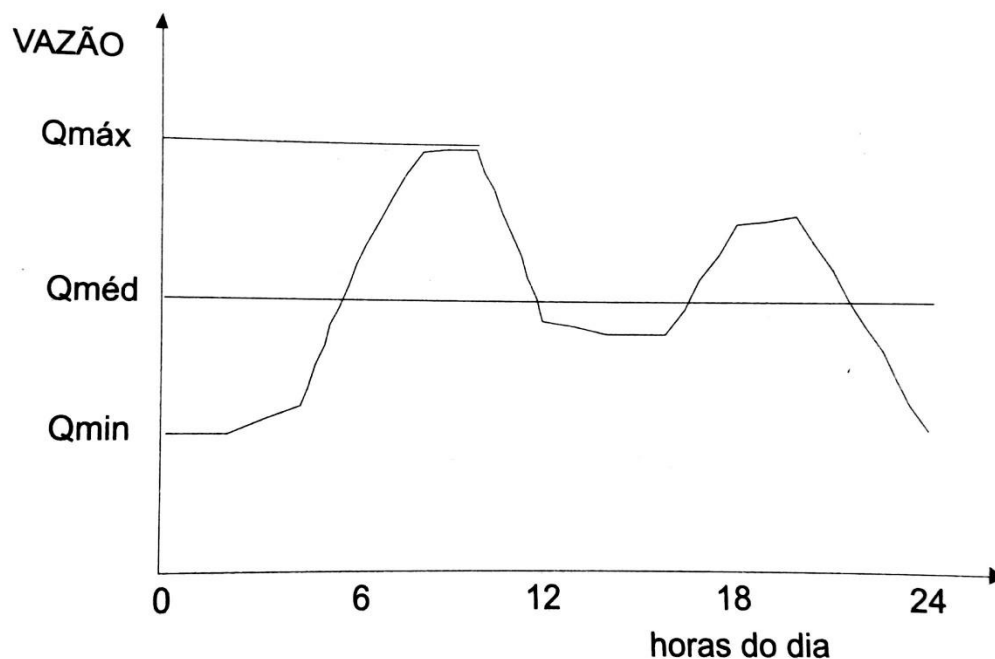


Figura 3.4 – Hidrograma típico de uma ETE (Fonte: Von Sperling, 2014)

Essa variação de vazões não é desejada do ponto de vista operacional, pois, nos períodos noturnos pode haver necessidade de recirculação de efluentes pré-tratados de forma a atender a relação Alimento/Microrganismos (A/M), que caracteriza a manutenção da biomassa (Sólidos em Suspensão), o que por sua vez demanda maiores custos e maior complexidade de operação (Nakazato, 2005). A equalização de vazões apresenta-se então como uma forma de mitigar esse problema.

Para o dimensionamento das unidades de equalização de fluxos devem ser utilizadas as vazões de projeto máximas que levam em consideração (a) vazão média que, relaciona a população equivalente com o consumo *per capita*, (b) as vazões de infiltração que são oriundas de juntas e paredes de canalizações e/ou dos poços de visitas, imperfeições nos materiais utilizados, entre outros. As vazões de infiltração não apresentam relação alguma com a população equivalente, levando em consideração somente a extensão total da rede. De acordo com a NBR-9649 essas vazões devem levar em consideração as características locais, tais como: nível do lençol freático, qualidade do material utilizado e tipo de junta utilizado e seu o valor deve estar entre 0,05 a 1,0 L/s.km.

O coeficiente de pico k é definido como o produto da variação máxima diária (k_1) pela vazão máxima horária (k_2). A norma NBR-9649 recomenda que sejam utilizados os valores de 1,2 para k_1 , 1,5 para k_2 quando não existem dados mais precisos. Uma ressalva importante é que conforme aumenta a população ou o a vazão, o coeficiente de pico diminui, pois, a extensão da rede será maior e o diâmetro dos coletores troncos e dos interceptores também, gerando dessa forma maior amortecimento de ondas de cheia. Em relação ao coeficiente “k”, Jordão e Pessôa (2014) apresentam dois métodos que relacionam a vazão máxima horária e a vazão média, levando em consideração o amortecimento do coeficiente de pico “k”, em função da população contribuinte P (em milhares de habitantes). A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) desenvolveu a Equação 3.1 que é bem aceita no território nacional e foi validada para vazões (Q) superiores a 0,75m³/s.

$$k = 1,2 + \frac{17,485}{Q^{0,509}} \quad (3.1)$$

Para valores de vazões inferiores, ou até mesmo para utilização como equação alternativa para o cálculo do coeficiente “k” pode ser utilizada a Equação 3.2, muito utilizado nos Estados Unidos (Jordão e Pessôa, 2014).

$$k = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{med}}} = 1 + \frac{14}{4 + P^{\frac{1}{2}}}, \text{ onde:} \quad (3.2)$$

Q_{\max} = vazão máxima (L³.T⁻¹)

Q_{med} = vazão média (L³.T⁻¹)

P = população (habitantes)

A vazão média (Q_{med}) é definida como o produto entre a população equivalente (P) e o consumo *per capita* de esgoto. A vazão máxima (Q_{\max}) pode ser definida como o produto entre a vazão média (Q_{med}) e o coeficiente de pico k .

3.5.LOCALIZAÇÃO DOS TANQUES E EQUALIZAÇÃO

Os tanques de equalização de vazões, em geral, são situados dentro da estação de tratamento de esgoto, mesmo assim é importante que seja avaliada a melhor localização para implementação dessa estrutura, seja para uma ETE já existente ou para uma estação que ainda será construída. É importante ressaltar que caso seja definido que as estruturas serão localizadas dentro da ETE, é necessário que se avalie qual melhor local dentro da estação para que ela seja implantada. De acordo com Metcalf & Eddy (2016) a localização ideal irá variar de acordo com o tipo de tratamento, as características do sistema de coleta e dos efluentes.

Os métodos de armazenamento de fluxos segundo USEPA (1999) incluem armazenamento subterrâneo, no fluxo principal, nos tanques de retenção. Sendo que, os tanques de retenção podem ser internos ou externos às unidades de tratamento.

Se as unidades de equalização forem situadas após o tratamento preliminar haverá redução dos custos de operação e manutenção. Além disso, ocorrerá minimização dos requisitos para remoção de sólidos totais, aeração e equipamentos de controle de odores. Se a unidade for localizada após o tratamento primário haverá menor incidência de problemas relacionados ao lodo e a espuma (Metcalf & Eddy, 2016), mas em compensação as vazões que chegarem aos decantadores primários não estarão equalizadas, podendo gerar uma sobrecarga nesses sistemas.

3.6.CARACTERÍSTICAS DE PROJETO ASSOCIADOS À IMPLEMENTAÇÃO DE EQUALIZAÇÃO DE FLUXOS

3.6.1. Efeitos resultantes da implantação de estruturas de equalização de fluxos

Segundo USEPA (1979), Metcalf & Eddy (2016); Nakazato (2005) os principais benefícios associados à implementação de equalização de fluxos são:

- Otimização dos processos biológicos devido a redução ou eliminação da ocorrência de cargas de choque, com possível diluição de substâncias inibidoras e estabilização do pH.
- Devido à constância na concentração de sólidos proporcionada pela equalização das vazões afluentes, haverá melhora na qualidade do efluente e no processo de espessamento dos efluentes do tratamento secundário seguido do tratamento biológico

- Nos tratamentos químicos a constância na carga de sólidos facilita o controle da dosagem de produtos químicos e consequentemente a confiabilidade do processo;
- Redução na sobrecarga de vazões em plantas já existentes;
- Proteção contra eventuais substâncias tóxicas;
- Provável redução de problemas operacionais;
- De maneira geral os benefícios tendem a crescer de acordo com a complexidade da estação de tratamento;
- Menor produção de lodo;
- Maior confiabilidade no processo de tratamento;
- Redução na necessidade de utilizar o *by-pass*;
- Economia de energia e de produtos químicos;
- É bem provável que nas estações onde exista, pelo menos tratamento secundário, que os custos da construção de tanques adicionais para armazenamento de fluxos serão menores que os custos associados a uma ampliação da capacidade de tratamento nas demais unidades da estação

O fator geralmente abordado pela literatura que impossibilita ou dificulta a instalação de unidades de equalização está relacionado aos custos de implantação e operação das unidades, pois, deve haver harmonia e gestão integrada em várias unidades simultaneamente para concretização de um processo eficiente.

Outra desvantagem é a possibilidade de geração de odores nas proximidades da unidade, principalmente se os tanques de equalização possuírem um longo tempo de detenção. É possível que esse problema seja contornado se houver aeração adequada conjuntamente com aplicação de inibidor químico. Portanto, é importante considerar o monitoramento frequente dessas unidades.

Segundo Ufl *et al.* (1996), *apud* Nakazato (2005), os processos de operacionalização de equalização de vazões em linha (item 3.6.2.1) podem apresentar decantação excessiva no sistema coletor e, se o diâmetro e forma das tubulações não forem adequados, pode haver obstruções, que podem provocar problemas operacionais.

É importante ressaltar que, a depender do sistema de equalização de fluxos utilizados, é possível implementar um sistema de pré-aeração nos tanques de retenção, melhorando assim questões relacionadas à liberação de maus odores e a redução no teor de gases (Nakazato, 2005). A utilização desse tipo de sistema pode levar a uma melhora global no sistema de tratamento, chegando a atingir 15% de melhora na eficiência no tratamento primário (Nakazato, 2005) e, conseqüentemente uma melhora nos processos à jusante devido à redução nas cargas a serem repassadas.

3.6.2. Estruturas de controle de fluxos

As estruturas de controle de vazão em águas residuárias podem ser divididas segundo Metcalf & Eddy (2016) em arranjo *in line* (ou em linha) ou arranjos *off-line* (ou em paralelo). Independente do tipo de arranjo escolhido é provável que as unidades necessitarão de mistura e aeração. Para que se reduza a necessidade de mistura é recomendável que, sempre que possível, as unidades de equalização estejam situadas após os desarenadores. Os equipamentos de mistura devem ser projetados de forma a realizarem uma homogeneização dos constituintes do tanque e para evitar a deposição de sólidos (USEPA, 1979).

Considerando que o volume disponível para equalização de vazões seja calculado para suportar somente as variações diurnas de fluxos qualquer um dos dois tipos de arranjo deverá resultar em concentrações aproximadamente iguais de DBO.

3.6.2.1. Arranjo *in line* (em linha)

Nesse tipo de estrutura, a vazão afluenta à estação passa pelos tanques de equalização e depois é encaminhada para as demais etapas de tratamento (Figura 3.5). Com isso, ocorre uma redução significativa na concentração de constituintes (DBO, DQO, SST, etc) e também na vazão. Esse tipo de estrutura deve ser construída tendo em vista atingir mistura completa eficiente, de forma a maximizar o amortecimento dos fluxos afluentes.

É necessário que se tomem alguns cuidados ao se utilizar esse tipo de arranjo, (a) se os tanques forem muito longos o fluxo se aproximará de um fluxo pistão o que reduzirá a eficiência de amortecimento das unidades, (b) as entradas e saídas devem ser projetadas de forma a evitar curto circuito e, além disso, é desejado que as descargas de saída estejam o mais próximo

possível das unidades de mistura. Por fim, é necessário ressaltar que esse arranjo necessita de bombeamento praticamente constante, sendo que muitas vezes será necessário aumentar o número de bombas existentes, portanto é essencial que a operação esteja bem coordenada com as demais unidades de forma a evitar gastos duplicados.

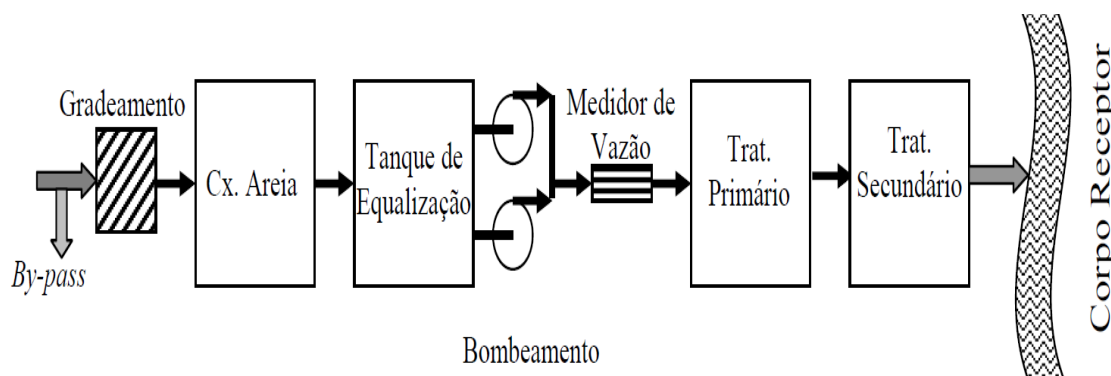


Figura 3.5 – Sistema de equalização de fluxo em linha com sistema de equalização situado após tratamento preliminar (Fonte: Nakazato, 2005).

3.6.2.2. Arranjo *off line* (em paralelo)

Nesse tipo de arranjo, somente as vazões que extrapolam a vazão média diária são encaminhadas para as estruturas de equalização. O fluxo principal é desviado para uma estrutura em paralelo que é capaz de armazenar as vazões por um período de tempo suficiente para regularizá-las. É importante ressaltar que esse tipo de estrutura possui uma capacidade de amortecimento de cargas hidráulicas bem inferior quando comparada ao fluxo em linha, porém possui custos relacionados ao bombeamento inferiores. Dependendo das estruturas presente na estação de tratamento é possível que esse tipo de arranjo contribua para redução da necessidade de bombeamento. Esse tipo de arranjo é recomendado para os casos onde seja desejado que esta unidade tenha também como finalidade a proteção contra substâncias tóxicas ou materiais que possam prejudicar os processos de jusante. Na Figura 3.6 é apresentado um fluxograma ilustrando a implantação do sistema de equalização logo após o tratamento preliminar.

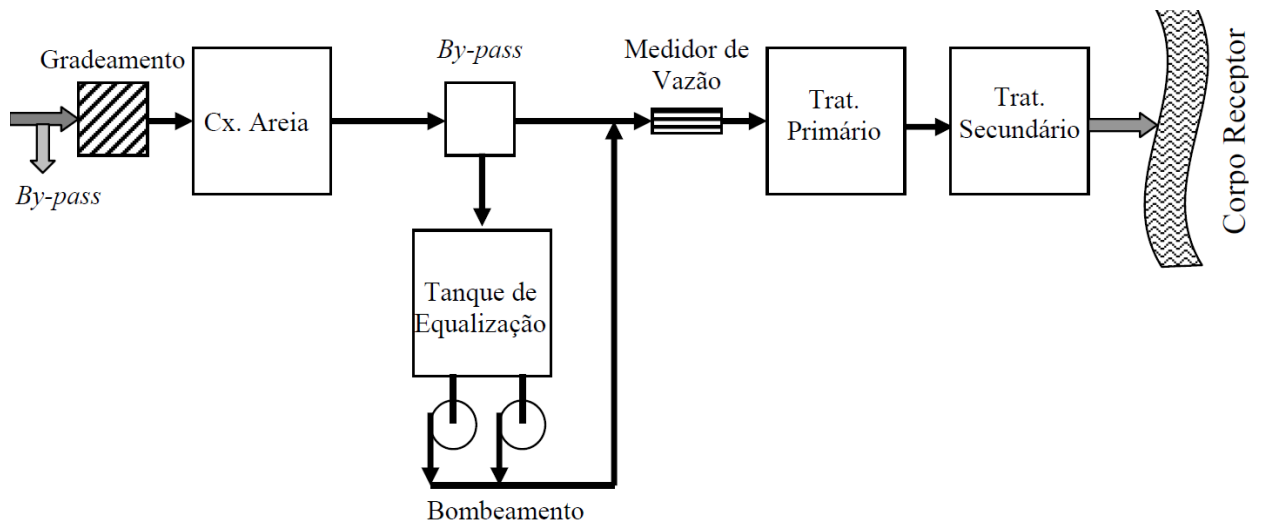


Figura 3.6 – Sistema de equalização de fluxo em paralelo com sistema de equalização situado após tratamento preliminar. (Fonte: Nakazato, 2005).

3.7. OPERACIONALIZAÇÃO DO PROCESSO

A USACE (2001), apresenta em seu manual de engenharia, quatro técnicas de operacionalização do processo de equalização: divisão alternada de fluxo, divisão intermitente de fluxo, fluxo combinado completamente misturado e fluxo fixo completamente misturado.

3.7.1. Divisão alternada de fluxo

É necessário a utilização de duas unidades de equalização para a operacionalização desse método. Um dos tanques é responsável por receber todo o fluxo afluyente a ETE enquanto o outro, já com sua capacidade máxima, descarrega o fluxo. Esse processo ocorre sucessivamente havendo alternância entre enchimento e descarregamento das duas unidades. Esse tipo de operação atinge altos graus de equalização, porém apresenta elevado custo devido à necessidade de construção de uma segunda bacia de equalização. Entretanto, pelo fato de necessitar a construção de duas unidades de equalização, isso torna a manutenção mais simples, uma vez que uma das unidades pode ser parada temporariamente sem que haja prejuízo significativo ao processo de tratamento (Figura 3.7).

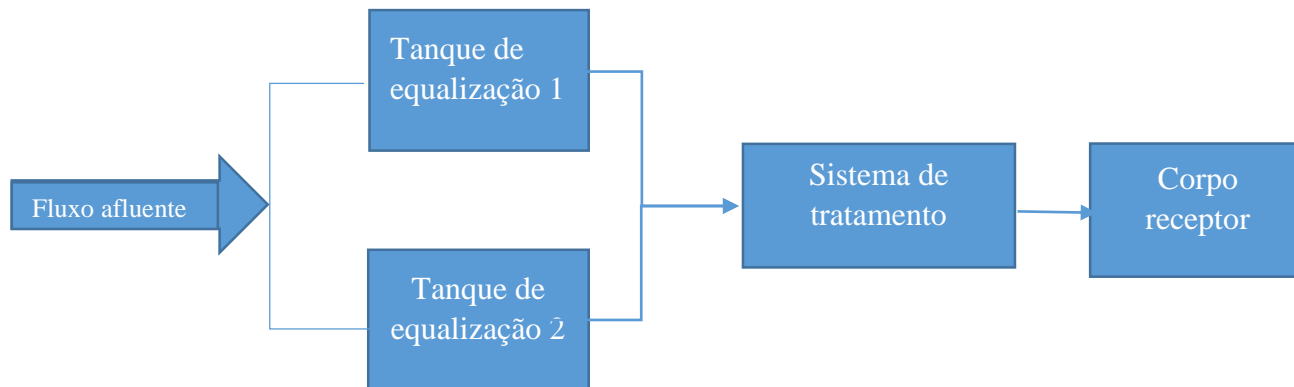


Figura 3.7 – Sistema de operação de fluxo: Divisão alternada de fluxos

3.7.2. Divisão intermitente de fluxo

Esse tipo de operação segue um arranjo *off line*, onde uma parte da vazão afluente é desviada para um tanque de equalização paralelo ao fluxo principal capaz de armazenar essa vazão por um determinado período de tempo. Para controlar os fluxos que podem ser liberados para o restante do sistema ocorre medição das vazões no canal de entrada. Uma representação desse tipo de sistema é apresentada na Figura 3.8.

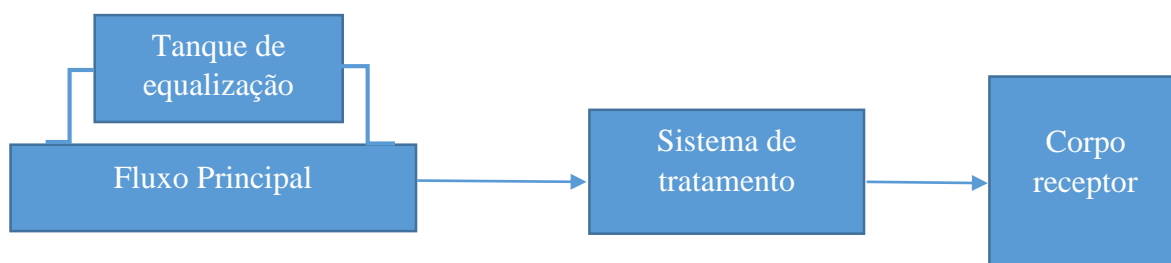


Figura 3.8 – Sistema de operação de fluxo: Divisão intermitente de fluxos

3.7.3. Fluxo combinado completamente misturado

Nesse sistema o tanque de equalização é projetado de forma a homogeneizar os constituintes dos fluxos de múltiplas entradas presentes, ou seja, busca promover uma mistura completa eficiente padronizando assim as características dos efluentes. É importante ressaltar que por esse sistema tratar fluxos de diversas fontes, a identificação de substâncias nocivas ou

de outros problemas na entrada do sistema serão mais difíceis de serem identificados. Além disso, é imprescindível que os fluxos afluentes sejam miscíveis para que, quando combinados não gerem problemas adicionais (Nakazato, 2005). Uma representação desse tipo de sistema é apresentada na Figura 3.9.

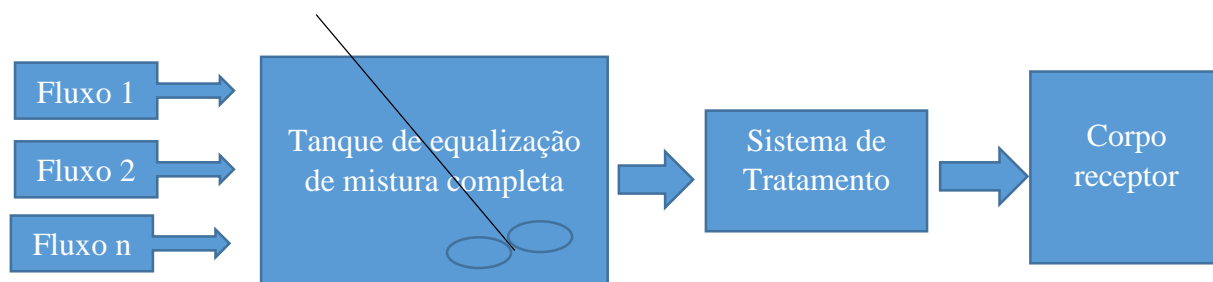


Figura 3.9 – Sistema de operação de fluxo: Fluxo combinado completamente misturado

3.7.4. Fluxo fixo completamente misturado

Assim como o fluxo combinado completamente misturado essa operação busca a mistura eficiente dos componentes dos efluentes gerando fluxo constante de vazões e características homogêneas dos efluentes. No entanto, para esse tipo de arranjo existe apenas uma entrada de fluxo afluente que por sua vez é completamente misturado antes de sua entrada no sistema de tratamento (Figura 3.10).

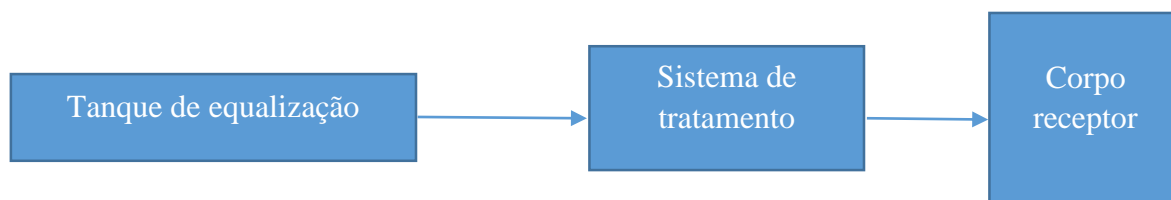


Figura 3.10 – Sistema de operação de fluxo: Fluxo fixo completamente misturado

Cada um dos sistemas operacionais citados possui características específicas que devem ser levadas em consideração previamente a sua instalação em uma ETE. A Tabela 3.4 sumariza as principais vantagens e desvantagens de cada um desses sistemas.

Tabela 3.4 – Quadro comparativo entre as principais vantagens e desvantagens dos sistemas de equalização de fluxos (Fonte: Adaptado de Nakazato, 2005).

Processo Operacional	Vantagens	Desvantagens
Divisão alternada de fluxo	<ul style="list-style-type: none"> → Elevado grau de equalização → Facilidade de manutenção 	<ul style="list-style-type: none"> → Alto custo associado à construção de uma segunda bacia de equalização → Necessidade de dois pontos de medição de vazões
Divisão intermitente de fluxo	<ul style="list-style-type: none"> → Baixo custo construtivo e operacional → É possível realizar o isolamento de componentes específicos para tratamento 	<ul style="list-style-type: none"> → Não é capaz de realizar equalização total dos fluxos
Fluxo combinado completamente misturado	<ul style="list-style-type: none"> → Homogeneização e padronização dos constituintes → Elevado grau de equalização → Permite a entrada de fluxos múltiplos 	<ul style="list-style-type: none"> → Obrigatoriedade de os fluxos serem miscíveis → Necessidade de vários pontos de monitoramento de vazões
Fluxo fixo completamente misturado	<ul style="list-style-type: none"> → Homogeneização e padronização dos constituintes → Necessidade de apenas um ponto de monitoramento de fluxos → Elevado grau de equalização 	<ul style="list-style-type: none"> → Não permite entrada simultânea de diversos fluxos → Dificuldade de manutenção sem prejudicar o restante do processo de tratamento.

3.8.MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE EQUALIZAÇÃO

Existem diversos métodos para estimar a melhor forma de realizar a equalização de vazões para águas residuárias. Cada método se difere dos demais de acordo com os parâmetros adotados, com a quantidade de parâmetros necessários para o cálculo, com a quantidade de dados de entrada, com a necessidade de utilização de métodos computacionais e também das observações e hipóteses criadas a partir das vazões afluentes. Vários desses métodos podem ser utilizados para calcular o volume das unidades de equalização. Entre eles os mais comumente utilizados são os de balanço simples de vazões (diagrama de massa) e o balanço simples de concentração.

A vazão a ser considerada para o tratamento em uma ETE deve levar em consideração a soma das vazões afluentes a estação com as vazões de recirculação, geralmente provenientes de sobrenadantes de adensadores e reatores, e da fase líquida da secagem de lodo (Jordão e Pessôa, 2014).

Jordão e Pessôa (2014) atentam ao fato de que essas vazões de recirculação podem ter concentração de DBO e de sólidos superiores àqueles encontrados nas vazões afluentes à estação, resultando dessa forma em concentrações maiores de matéria orgânica e de sólidos daquelas previstas inicialmente.

A recirculação é um processo que ocorre diversas vezes e, cada vez que ocorre gera uma quantidade adicional de sólidos e de matéria orgânica, ou seja, é um processo dinâmico que deve ser levado em consideração ao se calcular o volume das unidades que receberão esses fluidos. Esse acréscimo deve ser levado em consideração até o momento em que ele se torne desprezível. Para que sejam calculadas as quantidades que saem e entram de uma unidade é comumente utilizado o balanço de massa que por sua vez, inter-relaciona as vazões e concentrações que entram e saem das diversas unidades da ETE (Jordão e Pessôa, 2014).

Os principais parâmetros de interesse na ETE que costumam interferir mais fortemente nos processos são a vazão, a matéria orgânica (medida como DBO ou DQO) e os sólidos

suspensos (totais e voláteis), portanto é recomendado que sejam feitas análises de balanço de massa para todos esses parâmetros (Jordão e Pessôa, 2014).

O processo de balanço de massa se inicia com a caracterização dos fluxos afluentes à ETE. A partir daí é necessário entender quais unidades do sistema contribuem com recirculação para as demais unidades e, então realizar um novo balanço de massa. O processo é realizado até que os acréscimos nesses parâmetros sejam desprezíveis (Jordão e Pessôa, 2014).

3.8.1. Balanço simples de massa

É um método simples e amplamente utilizado para o cálculo de volume necessário em unidades de equalização e pode ser utilizado tanto para arranjos em linha como arranjos em paralelo. Em geral é aplicado quando a composição afluente é praticamente constante e as vazões variam ao longo do tempo. É um método direto que pode ser facilmente aplicado por meio gráfico. Para sua construção é necessário apenas que se trace um gráfico dos volumes acumulados versus o tempo (também conhecido como diagrama de Rippl) (Figura 3.14). O dado de saída será o volume necessário para o tanque de equalização (USEPA, 1979).

Segundo a USEPA (1979) existem dois fatores intervenientes que devem ser levados em consideração antes da aplicação do balanço de massa:

1. Não existe nenhuma informação relativa as concentrações ou ao fluxo mássico (produto entre vazões e concentrações);
2. É assumido que os dados são precisos e reais e não meramente estatísticos.

Alguns cuidados devem ser tomados antes da execução do balanço de massa, por exemplo, as estações de tratamento de esgoto, em geral, são projetadas para receber efluentes residenciais, comerciais e industriais e os tanques de equalização para suportar essas vazões afluentes. Além disso, é comum que o projetista adicione uma certa tolerância nas unidades para que estas sejam capazes de absorver vazões provenientes de infiltração e demais fluxos inesperados. No entanto, deve ser lembrado que os cálculos referentes à infiltração e demais vazões extras são feitas baseadas em chuvas moderadamente intensas. Porém, na realidade raramente existem dados relativos para chuvas mais intensas (por exemplo, período de retorno de 10 anos). Essas vazões têm fortes impactos nas estações de tratamento que não são projetadas

para amortecer estas cargas hidráulicas e, portanto, é necessário que se leve esses fatores em consideração para o dimensionamento das unidades (USEPA, 1979).

O balanço de massa em torno de um volume de controle (Figura 3.11) é dado por:

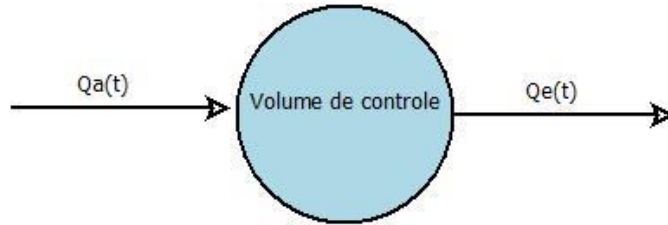


Figura 3.11 – Balanço de massa simples para vazão

$$\left[\begin{array}{c} \text{Taxa de acúmulo de} \\ \text{massa dentro do sistema} \\ \left(\frac{\Delta m}{\Delta t} \right) \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{fluxo mássico} \\ \text{afluente ao sistema} \\ \left(\frac{m}{\Delta t} \right) \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{fluxo mássico} \\ \text{efluente} \\ \left(\frac{m}{\Delta t} \right) \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Taxa de geração/consumo} \\ \text{de massa por reação química} \\ \text{dentro do sistema} \left(\frac{m}{\Delta t} \right) \end{array} \right]$$

$$\left(\frac{\partial m}{\partial t} \right)_{\text{tanque de equalização}} = \left(\frac{\partial m}{\partial t} \right)_a - \left(\frac{\partial m}{\partial t} \right)_e \pm \left(\frac{\partial m}{\partial t} \right)_{\text{reações}} \quad (3.3)$$

Como no balanço de massa simples não se considera a concentração dos constituintes (C) e somente a vazão (Q) a Equação 3.3 pode ser reescrita como:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = Q_a - Q_e \quad (3.4)$$

Rearranjando a Equação 3.4 obtêm-se a Equação 3.5 a seguir:

$$Q_a \Delta t = \Delta V + Q_e \Delta t \quad (3.5)$$

Q_a = Vazão afluyente que entra no sistema, a taxa média no intervalo de tempo Δt , (L^3T^{-1})

Δt = intervalo de tempo, T

ΔV = Variação do volume armazenado durante o tempo Δt (L^3)

Q_e = Vazão efluente que sai do sistema, a taxa média no intervalo de tempo Δt , (L^3T^{-1})

As Figuras 3.12 e 3.13 ilustram o balanço de massa para os arranjos em linha e em paralelo, respectivamente, demonstrando a relação das variáveis do balanço de massa com o sistema físico no qual ocorrem.

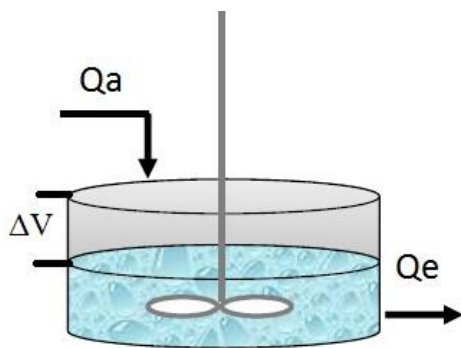


Figura 3.12 – Balanço de massa em linha

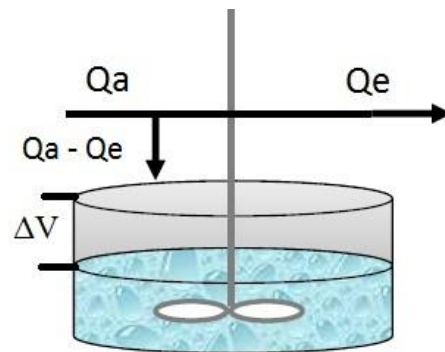
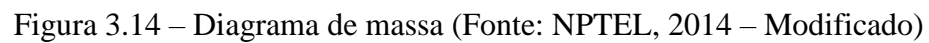


Figura 3.13 – Balanço de massa em paralelo

Para a construção do diagrama de massa (ou diagrama de Rippl) é necessário que se sigam os seguintes passos (NPTEL, 2014):

1. Traçar uma curva de volumes acumulados versus tempo (Figura 3.14). O volume que flui em um determinado período de tempo é calculado baseado nas vazões afluentes. Os volumes acumulados são obtidos a partir da soma do volume em um tempo pré-determinado acrescido do volume do próximo instante no tempo. Esse volume resultante é somado ao volume do tempo subsequente. Esse processo continua até o encerramento do ciclo de observações, em geral 24h.



-
- The left graph shows 'Volume Acumulado' on the y-axis and 'Tempo' on the x-axis. It features a step function representing the difference between demand and supply, with steps labeled 'A' and 'B'. A diagonal line represents the supply rate, and the area between the step function and the supply line is labeled '(A-B)'.
- The right graph shows 'Volume Acumulado' on the y-axis and 'Tempo' on the x-axis. It features a curve representing the cumulative volume of water in the reservoir. A diagonal line represents the supply rate, and the area between the curve and the supply line is labeled '(A-B)'. Annotations include 'Reservatório Cheio' (Full Reservoir) and 'Reservatório vazio' (Empty Reservoir).
- Volume Necessário = $\text{Max entre } |A-B|$

35

É importante ressaltar que o volume da bacia de equalização deverá ser maior que aquele encontrado através da hidrógrafa, pois, deve haver espaço suficiente para borda livre, profundidade mínima para equipamentos de aeração e mistura que venham a ser utilizados, e para garantir volume suficiente para armazenamento de vazões decorrentes de chuvas mais intensas que o previsto. Mecalf & Eddy (2016) recomendam que seja acrescido um volume na ordem de 10 - 20% do volume obtido, como forma de reserva operacional.

3.8.2. Balanço de concentração

É um método determinístico, onde se assume que os valores das vazões afluentes são conhecidos em cada intervalo de tempo. Ele se aplica somente a arranjos em linha e, a depender de sua utilização pode requerer um grande número de cálculos. Além disso, assume também as hipóteses de que a vazão e o volume de equalização são constantes (USEPA, 1979).

Para um tanque de equalização completamente misturado e, para um material que não sofre variação ao longo do tempo, a equação de balanço de concentração é (Equação 3.6):

$$\Delta c = \frac{Q}{V} \Delta t.(c_a - c), \text{ onde } \frac{Q}{V} = \frac{1}{\theta_h} \quad (3.6)$$

Δc = variação da concentração no tempo Δt

V = volume do tanque de equalização, constante

Δt = intervalo de tempo

c_a = concentração afluente, a média no tempo Δt

c = concentração no tanque de equalização, no início de Δt

θ_h = tempo de detenção

A grande vantagem da utilização desse método é a facilidade de adicionar a taxa de decomposição de um elemento de interesse “c” na equação, supondo que existe algum modelo de decaimento que explique bem essa variação, por exemplo, supondo que o decaimento de primeira ordem ocorra a equação será reescrita da seguinte maneira:

$$\Delta c = \frac{Q}{V} \Delta t.(c_a - c) - ck\Delta t, \text{ onde } k \text{ é o coeficiente de decaimento} \quad (3.7)$$

É possível que esse método seja utilizado para tanques de equalização que não sejam completamente misturados, porém a complexidade dos cálculos aumentará significativamente (USEPA, 1979).

O valor inicial “c” deve ser assumido, no entanto, após alguns tempos de detenção esse valor será insignificante. As variáveis Q, V e os valores de c_a devem ser dados em função do tempo. O resultado final será um valor de “c” em função do tempo.

O intervalo de tempo Δt deve ser bem inferior ao valor do tempo de detenção e também deve ser inferior que a escala temporal de variação de c_a .

Pode-se reescrever a Equação (3.7) de forma que sejam necessários menos passos para a obtenção do resultado final (Equação 3.8):

$$\Delta c = \left[1 - e^{\left(\frac{-Q\Delta t}{V} \right)} \right] (c_a - c) \quad (3.8)$$

As equações previamente listadas requerem que Δc seja bem inferior a c. Isso significa que Δt deve ser pequeno ao se comparar com V/Q e a $1/K$, isso implica em dizer que serão necessários muitos passos até atingir o resultado final. Caso deseje-se reduzir a quantidade de passos escolhendo um intervalo muito grande de Δt o valor de “c” será significativamente diferente das concentrações médias no intervalo de tempo Δt . Uma melhor aproximação dessa concentração média pode ser obtida ao fazer a seguinte operação $c + \Delta c/2$. Reorganizando a Equação (3.7) obtém-se a Equação (3.9) e é preferível sua utilização ao invés das Equações (3.6) e (3.7) caso opte-se por utilizar um intervalo maior de Δt .

$$\Delta c = \frac{\frac{Q\Delta t}{V}(c_a - c) - ck\Delta t}{1 + \frac{\Delta t}{2} \left(\frac{Q}{V} + K \right)} \quad (3.9)$$

3.9.EQUALIZAÇÃO NA REDE DE COLETA

Alguns países têm utilizado a equalização de vazões na própria rede de coleta de esgotos domésticos. Na Alemanha, por exemplo, o sistema de coleta utilizado é do tipo unitário ou misto, apresentando dessa maneira elevados diâmetros de tubulação. Esses sistemas também são divididos em arranjos do tipo em linha (na própria rede coletora) ou em paralelo a rede.

No arranjo em linha existem reservatórios que conseguem armazenar as vazões afluentes na própria rede por um período de tempo relativamente grande – os tanques de retenção utilizados na Alemanha, por exemplo, costumam ter uma capacidade de armazenamento de 1000m^3 -. O arranjo em paralelo funciona basicamente da mesma maneira, mas nesse caso os tanques de retenção estão situados paralelamente à rede coletora. A maioria dos sistemas já são automatizados com controle em tempo real. O enchimento dos tanques de retenção se iniciam quando o sistema detecta elevados valores de vazões afluentes e, começam a esvaziar assim que é detectado que os valores de vazões retornaram aos seus valores normais. Quando essas vazões retornam aos valores normais e os tanques são esvaziados ocorre a remoção dos sedimentos (Bolmstedt, 2004).

Caso não haja tempo suficiente para o completo esvaziamento dos tanques em linha antes de um evento de chuva subsequente, as vazões que passarem pela rede terão uma qualidade inferior devido a quantidade de sedimentos que não pode ser removida e acabou sedimentando. No entanto, de forma geral, os sistemas em linha são aqueles que apresentam menores problemas relacionados com os sedimentos, uma vez que mesmo quando não ocorrem eventos de chuva (e não há necessidade de utilização dos tanques de retenção) as vazões dos esgotos domésticos continuam passando pela tubulação e essa vazão acaba removendo os sedimentos regularmente (Bolmstedt, 2004).

4. METODOLOGIA

4.1. ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O trabalho foi dividido em quatro etapas (Figura 4.1) e os dados que serão utilizados na execução destas etapas serão obtidos na Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Sul (ETEB-Sul).

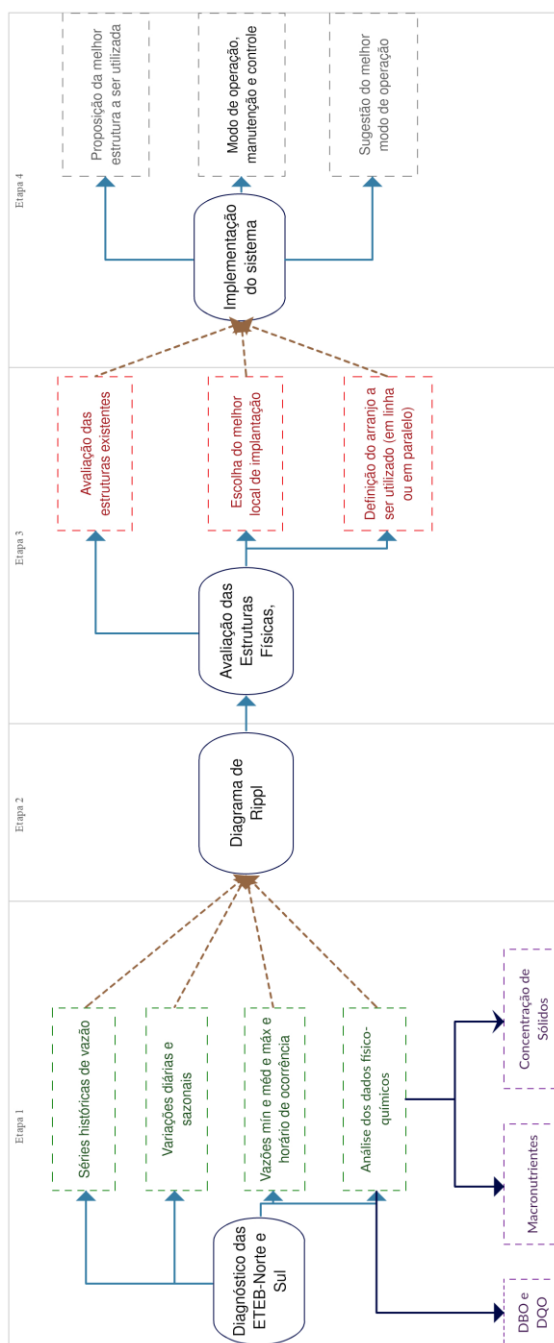


Figura 4.1 – Etapas de elaboração do Projeto Final 2 em Engenharia Ambiental

4.1.1. ETAPA 1: Diagnóstico da ETEB-Sul e ETEB-Norte

Para a determinação do sistema de equalização de vazões, o primeiro passo foi a obtenção dos dados de vazões afluentes à ETEB Sul. As informações utilizadas neste estudo foram fornecidas pela Companhia de Abastecimento e Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) e incluem dados referentes aos anos de 2011 a 2015. Esses dados foram escolhidos de forma a representar mais fielmente a realidade na ETEB Sul. E, também reforçar a ideia que, de forma geral, as vazões afluentes à ETE tendem a aumentar com o decorrer dos anos. Fato este, que justifica a decisão de desconsiderar os dados mais antigos disponibilizados pela CAESB.

As variações sazonais e horárias também foram avaliadas para esse mesmo período e forneceram informações importantes acerca do comportamento da ETE frente a essas alterações.

Esses dados foram imprescindíveis para a construção do diagrama de massa e, consequentemente a determinação do volume necessário para realizar a equalização de vazões. As etapas de avaliação dos dados têm por objetivo construir o hidrograma típico da ETEB Sul de forma a avaliar a vazão a ser equalizada e foram realizados na seguinte ordem:

- a. Séries históricas de vazões;
- b. Avaliação das variações sazonais das vazões;
- c. Delimitação das médias das vazões mínima, média e máxima e em qual horário elas ocorrem mais frequentemente;

4.1.2. ETAPA 2: Dimensionamento dos tanques de equalização

A segunda etapa do trabalho constituiu-se em dimensionar o volume necessário de equalização para a ETEB Sul através do método do diagrama de massa (diagrama de Rippl). Esse volume foi baseado nas vazões afluentes obtidos na etapa anterior.

4.1.3. ETAPA 3: Avaliação das estruturas físicas, local de implantação e definição do arranjo a ser utilizado

Após definidos o volume teórico e o volume real necessários para a realização da equalização de vazões, foram avaliadas se as estruturas físicas da ETEB Sul eram suficientes para armazenar esse volume.

O item “a” teve como objetivo avaliar a possibilidade de aproveitamento das estruturas existentes que não estejam sendo utilizadas para o tratamento de efluentes para a consolidação do projeto de tanques de equalização, observando se essa estrutura tem capacidade suficiente para equalizar as vazões afluentes.

Nos itens “b” e “c”, respectivamente, foram avaliados o melhor local de implantação de implantação das unidades de equalização e o melhor arranjo a ser utilizado para realizar a equalização de vazões.

- a. Avaliação das unidades presentes na ETEB-Sul que não estavam sendo utilizadas, para observar se seria possível fazer aproveitamento dessas estruturas para realizar a equalização de vazões;
- b. Avaliação do melhor local a se implantar os tanques de equalização de vazões caso as estruturas antigas da ETE não fossem capazes de suportar o volume afluente;
- c. Definição do arranjo a ser utilizado (em linha ou em paralelo);

4.1.4. Etapa 4: Sugestões quanto à implantação da estrutura de equalização de vazões

Para a realização da etapa 4 foram avaliadas todas as informações obtidas nas etapas anteriores e foi realizada uma comparação com o sistema de equalização de vazões da ETEB Norte proposto por Nakazato (2005). O objetivo dessa etapa foi a de propor uma forma de como operar o sistema de equalização de vazões. Para a realização dessa etapa foram seguidos os seguintes passos:

- a. Proposição da melhor estrutura a ser utilizada na estação;

- b. Avaliação e sugestão do melhor modo de operacionalização do sistema;
- c. Sugestão de metodologia de manutenção do sistema;

4.2.CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Sul (ETEB-Sul), que foi inaugurada no ano de 1962 e foi projetada a princípio para atender 150.000 habitantes. Devido ao acelerado crescimento populacional que ocorreu na região, associado aos problemas de eutrofização no Lago Paranoá houve necessidade de ampliação das estações de tratamento. Então, no ano de 1993 foi inaugurada a nova planta da ETEB-Sul (Figura 4.2).



Figura 4.2 - ETE Brasília Sul. (Fonte: SIESG/CAESB – 2012)

A nova planta foi projetada para atender uma população de 450.000 habitantes e sua capacidade média de projeto é de 1500 L/s, sendo que atualmente opera com vazão média de 1092,47 L/s (CAESB, 2012). Essa estação atualmente atende nove Regiões Administrativas (RA) Asa Sul e parte da área central de Brasília (pertencente a RA I Brasília), RA VIII Núcleo Bandeirante, RA X Guará, RA XI Cruzeiro, RA XVI Lago Sul RA, XIX Candangolândia, parte da RA XX Águas Claras, RA XXII Sudoeste/Octogonal, RA XXIX SIA.

Os esgotos são coletados e encaminhados para a ETEB-Sul por gravidade e por bombeamento até o tratamento preliminar, onde são removidos os sólidos grosseiros por meio

do gradeamento, e a areia e outros sólidos inorgânicos por meio do desarenador. Após o tratamento preliminar o esgoto é encaminhado para os decantadores primários, onde ocorre a separação em fase líquida e fase sólida. A fase sólida é então bombeada para os adensadores de lodo e destes para os digestores anaeróbios, onde ocorre estabilização da matéria orgânica por bactérias específicas, produzindo um material rico em nutrientes.

A fase líquida é encaminhada aos reatores onde os nutrientes e a matéria orgânica são assimilados por microrganismos específicos. Esses microrganismos são separados do líquido já tratado nos decantadores secundários e retornam para os reatores para dar continuidade ao processo. O excesso de lodo gerado é descartado, adensado, digerido aerobiamente e desidratado junto com o lodo anaeróbio (CAESB, 2012).

A fase líquida é então encaminhada para o processo de polimento final para que haja remoção dos sólidos e do fósforo residuais do processo biológico. Esses materiais são retidos através do processo de floculação, que tem como objetivo união das partículas remanescentes formando flocos que são mais facilmente removidos pelo processo de flotação. A flotação consiste em um processo físico de separação gravitacional das fases sólido-líquido e líquido-líquido no qual as bolhas de gás entram em contato com as partículas sólidas ou líquidas em suspensão, resultando em densidade aparente inferior à do líquido. A densidade diferencial causa aumento da força de empuxo do aglomerado, que flutua até a superfície do líquido, onde se acumula em forma de lodo e pode ser removido posteriormente (Ginoris, 2013). Os sólidos removidos na superfície por raspadores são então bombeados para a digestão e desidratação junto com os outros lodos produzidos no processo. O efluente líquido remanescente é então lançado no Lago Paranoá, conforme a Figura 4.3.

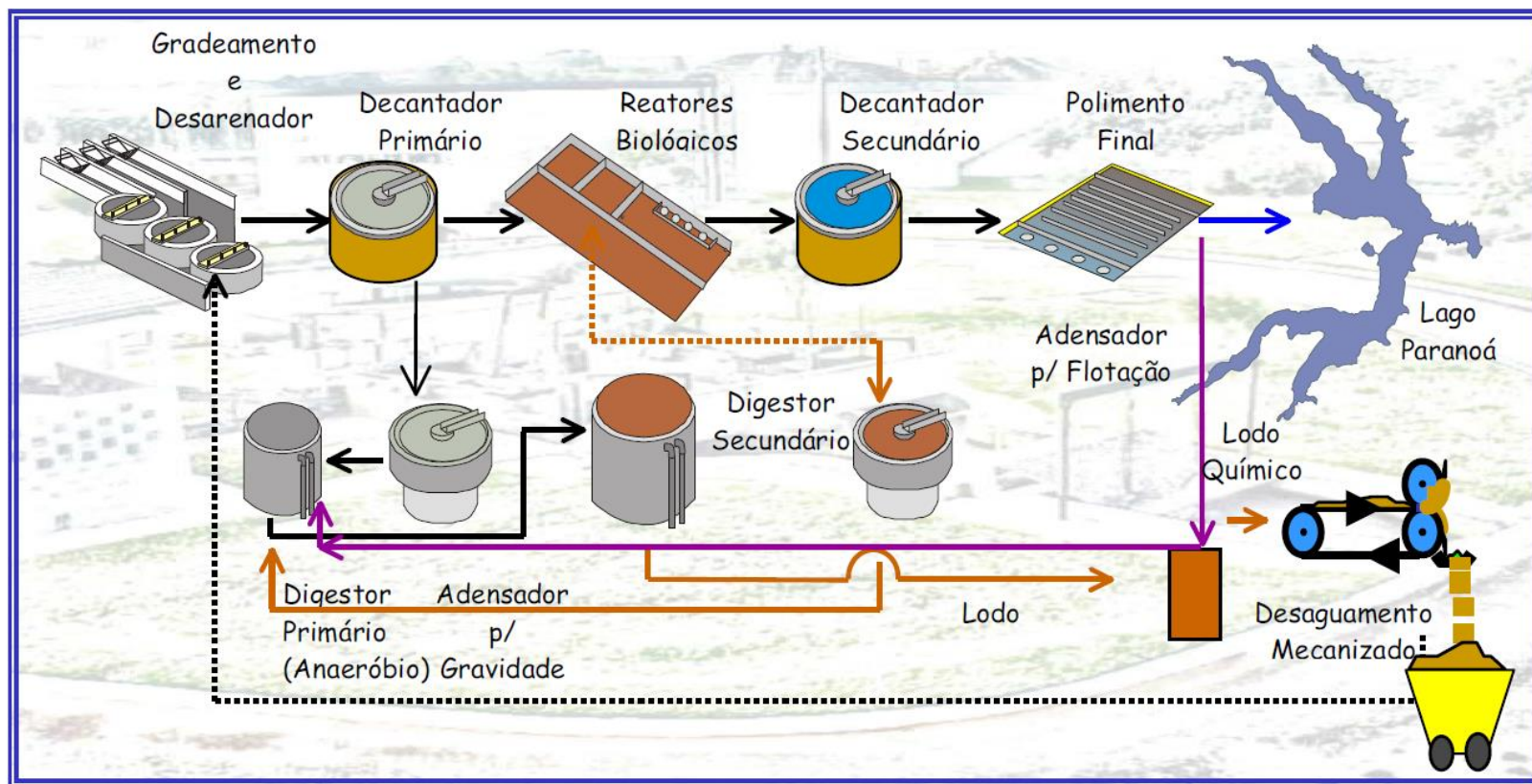


Figura 4.3 - Fluxograma da ETE Brasília Sul. (Fonte: SIESG/CAESB – 2008)

5. DISCUSSÕES E RESULTADOS

5.1.LEVANTAMENTO DOS DADOS INICIAIS

Para a análise do sistema de equalização de vazões, foram avaliados somente os dados de 2011 a 2015 (Tabela 5.1), objetivando obter dados mais representativos com relação ao comportamento da vazão afluyente atual da ETEB Sul, uma vez que a utilização de dados mais antigos poderiam levar a análise do padrão de vazões diferente do que realmente ocorre, pois, entre outros fatores, os hábitos das comunidades mudam ao longo do tempo, a população aumenta e essas variações afetam as vazões de efluentes domésticos que chegam à ETE.

Tabela 5.1 – Médias horárias das vazões afluentes à ETEB-Sul no período de 2011 a 2015.
(Fonte: CAESB, 2016)

Hora	Vazão afluyente (L/s) - ETEB SUL					Média
	2011	2012	2013	2014	2015	
0	1.059	1.075	1.052	1.130	1.305	1.124
1	983	985	971	1.029	1.206	1.035
2	884	886	867	922	1.085	929
3	769	787	752	805	934	809
4	663	680	645	689	802	696
5	561	602	576	595	690	605
6	520	542	528	539	627	551
7	550	544	517	544	645	560
8	664	641	619	647	753	665
9	879	860	851	873	1.025	897
10	1.162	1.171	1.143	1.155	1.369	1.200
11	1.389	1.418	1.371	1.393	1.614	1.437
12	1.525	1.577	1.535	1.531	1.794	1.592
13	1.616	1.681	1.599	1.618	1.870	1.677
14	1.641	1.696	1.645	1.670	1.902	1.711
15	1.680	1.710	1.663	1.670	1.904	1.725
16	1.577	1.667	1.593	1.631	1.845	1.662
17	1.481	1.534	1.482	1.534	1.757	1.558
18	1.390	1.418	1.381	1.433	1.659	1.456
19	1.304	1.325	1.301	1.361	1.586	1.376
20	1.261	1.274	1.233	1.292	1.516	1.315
21	1.211	1.229	1.185	1.251	1.468	1.269
22	1.158	1.168	1.150	1.231	1.414	1.224
23	1.128	1.138	1.107	1.209	1.376	1.192
Média	1.127	1.150	1.115	1.156	1.339	1.178

5.1.1. Vazões médias

Após o levantamento das vazões médias (Tabela 5.1) foram construídos os hidrogramas de 2011 a 2015 separadamente (Figuras 5.1 A - E) e, posteriormente colocados em um só gráfico (Figura 5.3) além do hidrograma médio de toda a série histórica utilizada (Figura 5.2), para avaliar o comportamento das vazões nesse período e posterior determinação do diagrama de massa.

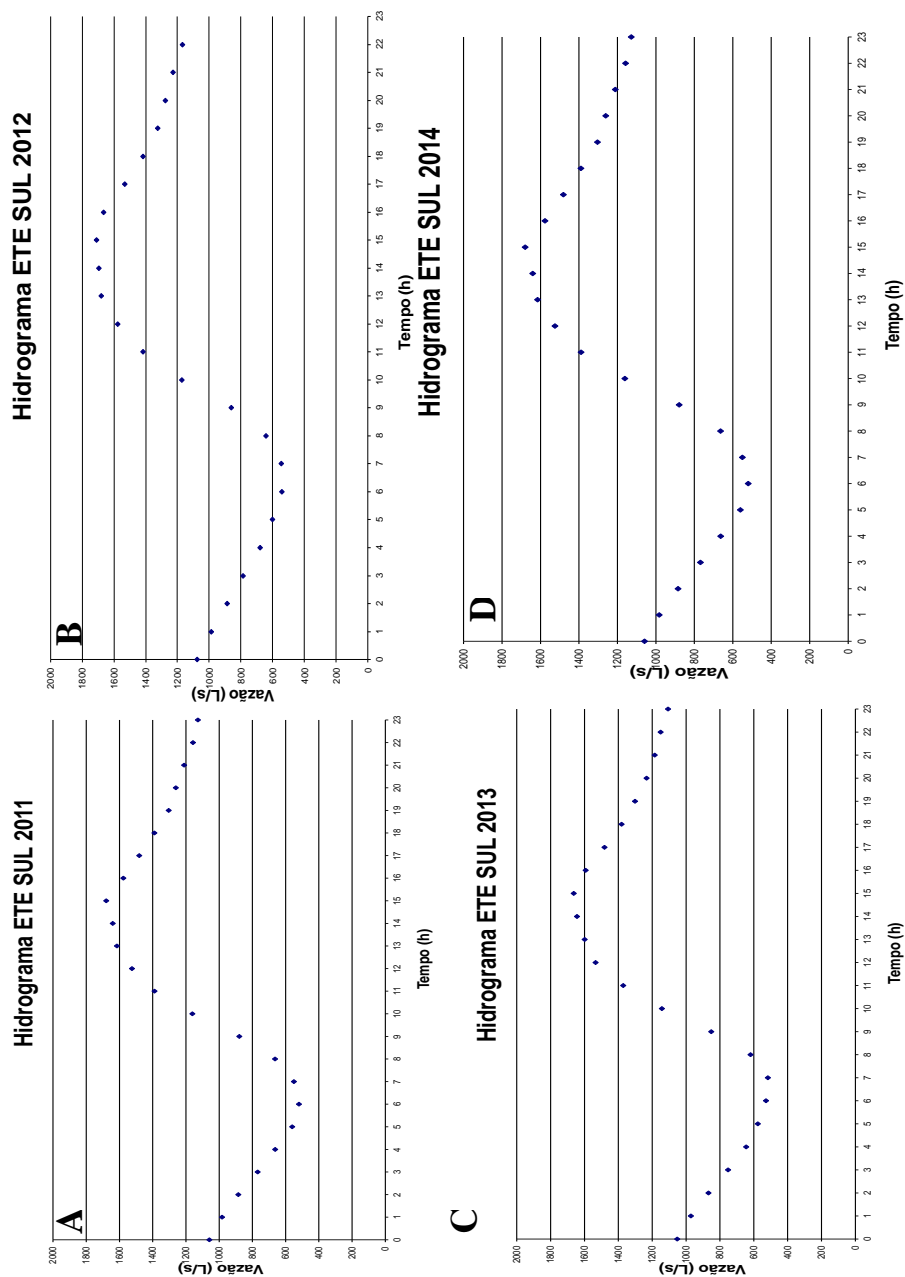


Figura 5.1 – Hidrograma ETE Sul para os anos de 2011 (A), 2012 (B), 2013(C), 2014 (D), 2015 (E).

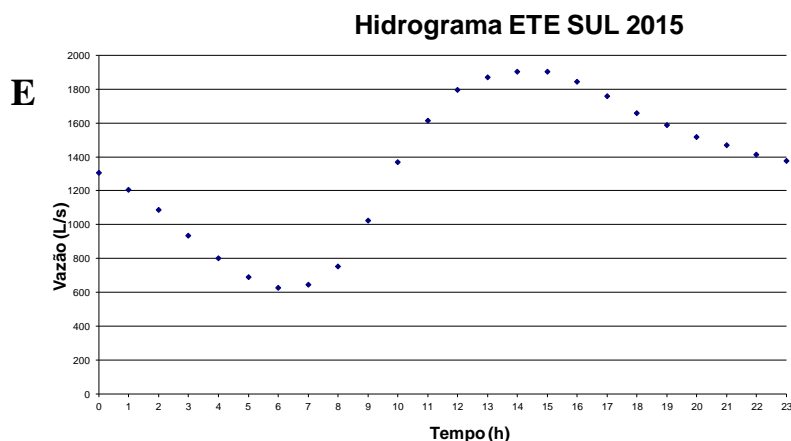


Figura 5.1 – Hidrograma ETE Sul para os anos de 2011 (A), 2012 (B), 2013(C), 2014 (D), 2015 (E).

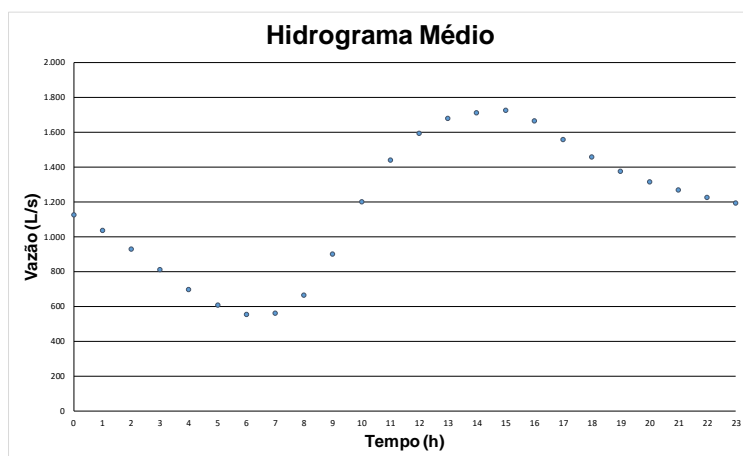


Figura 5.2 – Hidrograma médio comparativo das vazões afluentes médias à ETEB Sul no período de 2011 a 2015

O hidrograma médio (Figura 5.2) foi construído a partir da média das vazões médias horárias apresentadas na última coluna da Tabela 5.1. É importante observar a diferença que existe entre os hidrogramas da ETEB-Sul (Figura 5.3), onde existe apenas um pico de vazão que ocorre por volta das 15h e, o hidrograma típico de uma ETE (Figura 3.4) onde existem dois picos, um aproximadamente às 12h e outro ao fim do dia por volta das 19h. Essa diferença de comportamento de vazões ocorre pelo fato de que as vazões afluentes de uma ETE típica (Figura 3.4) são baseados em um padrão de comportamento onde os horários de maior vazão são os horários de manhã e do almoço (maior pico), nos quais ocorre maior uso de banheiros, cozinhas e demais atividades residenciais e comerciais e, um segundo pico ao fim do dia decorrente do fato de as pessoas retornarem às suas residências e fazerem uso de suas instalações sanitárias.

O hidrograma da ETEB Sul (Figura 5.3) apresenta somente um pico mais alongado, representando os padrões de consumo de uma comunidade residencial-administrativa com pico ocorrendo em horário comercial (Luduvic, 2011).

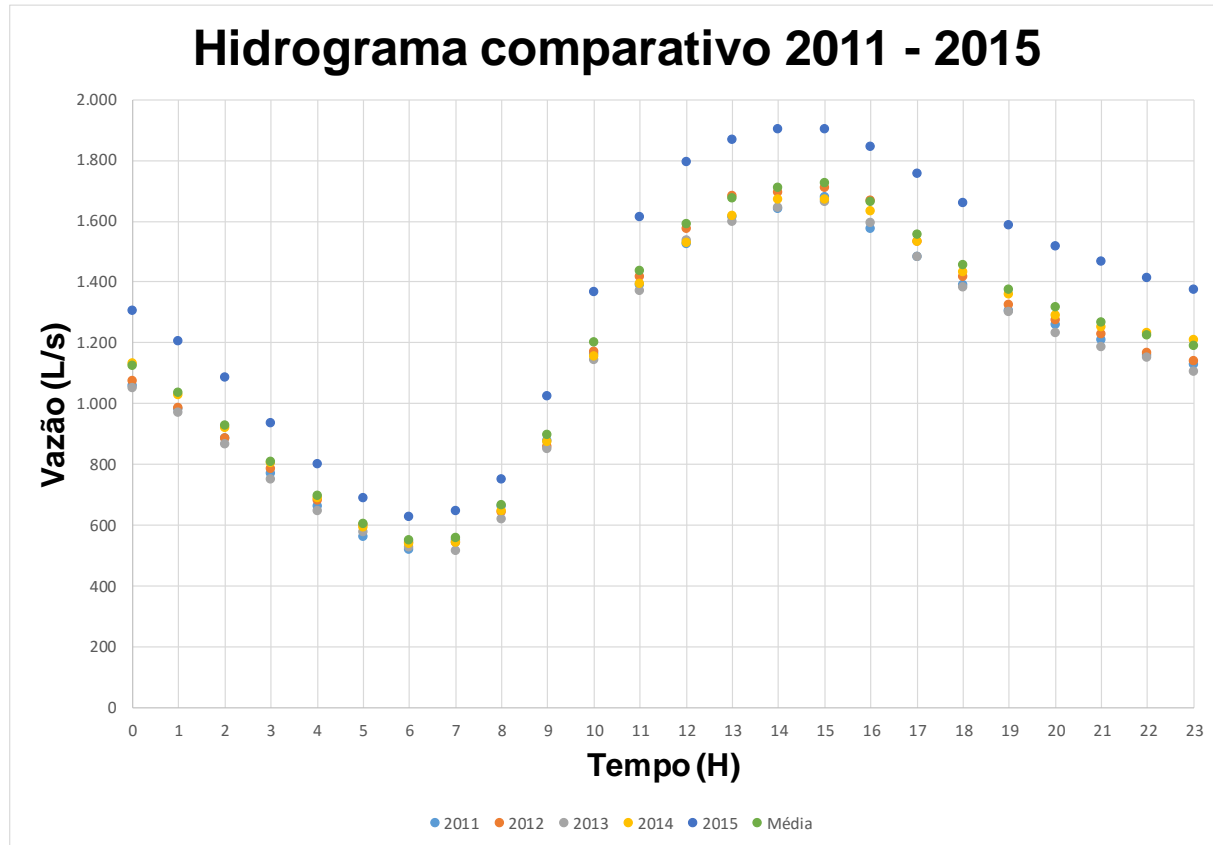


Figura 5.3 – Hidrograma comparativo das vazões afluentes médias à ETEB Sul no período de 2011 a 2015

O hidrograma comparativo de vazões (Figura 5.3) mostra como o comportamento das vazões afluentes tem mudado ao longo dos últimos cinco anos, demonstrando que a tendência é que elas aumentem com o passar dos anos. Isso fica mais evidente ao se comparar, por exemplo, o hidrograma referente ao ano de 2013 com o hidrograma do ano de 2015. Algumas hipóteses que podem justificar esse aumento de vazões podem ser i) crescimento populacional na região atendida pela ETE ii) alteração nos padrões de consumo da população. No entanto, um dos fatores que reconhecidamente levou a esse aumento de vazão foi a construção de uma nova curva para a calha Palmer Bowlus (medidor de vazão de esgotos) no ano de 2015.

5.1.2. Variação sazonal pluviométrica no DF e sua influência nas vazões afluentes à ETEB SUL

Como pode ser observado por meio das Figuras 5.4 A – E, a sazonalidade no Distrito Federal é bem definida por um período seco que ocorre entre os meses de maio a setembro e um período chuvoso definido entre os meses de outubro a abril.

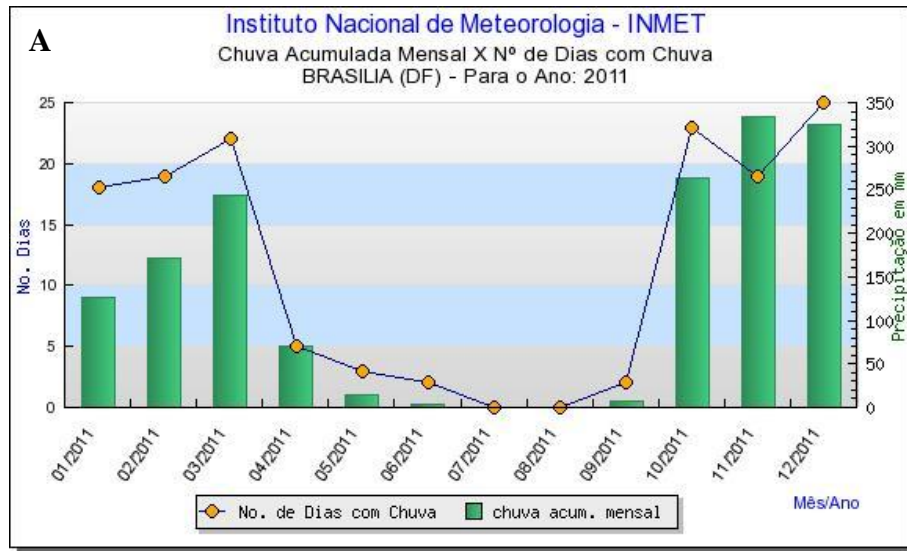


Figura 5.4 – A - Chuva acumulada mensal x nº de dias com chuva no ano de 2011 (Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016)

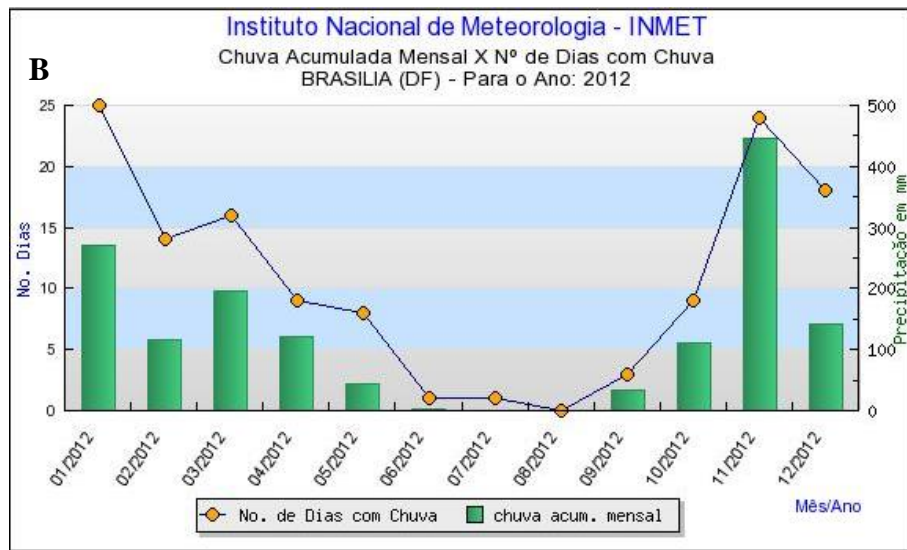


Figura 5.4 – B - Chuva acumulada mensal x nº de dias com chuva no ano de 2012. (Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016)

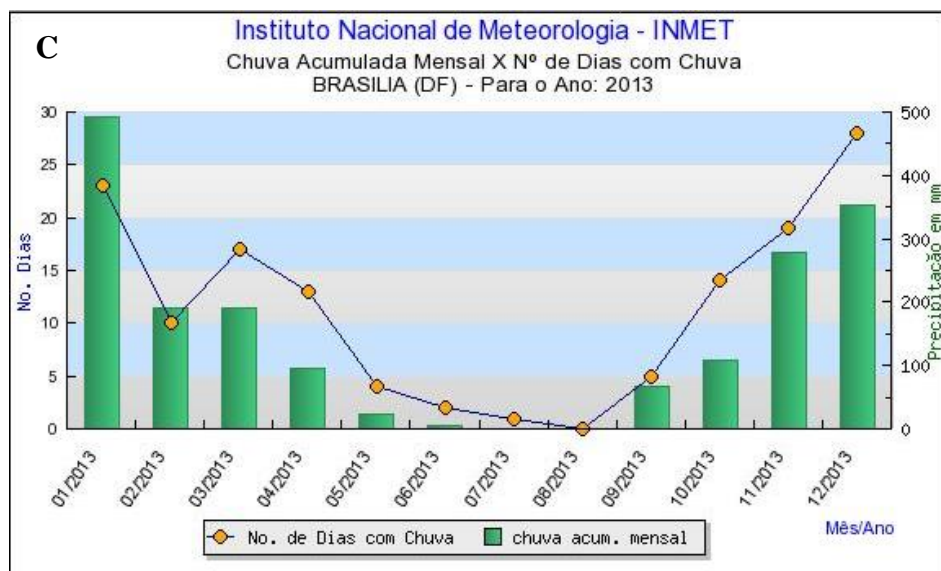


Figura 5.4 – C - Chuva acumulada mensal x nº de dias com chuva no ano de 2013.
(Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016)

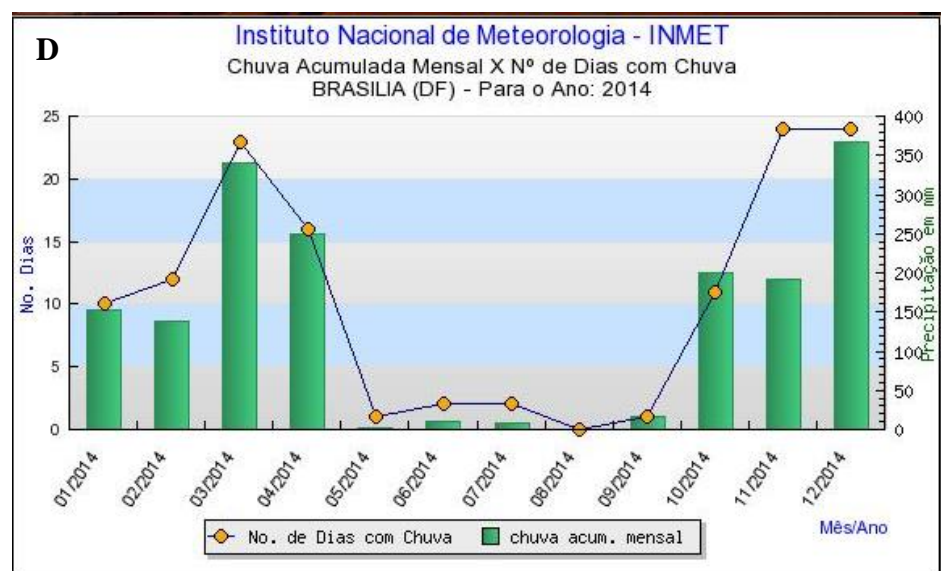


Figura 5.4 – D - Chuva acumulada mensal x nº de dias com chuva nos anos de 2014.
(Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016)

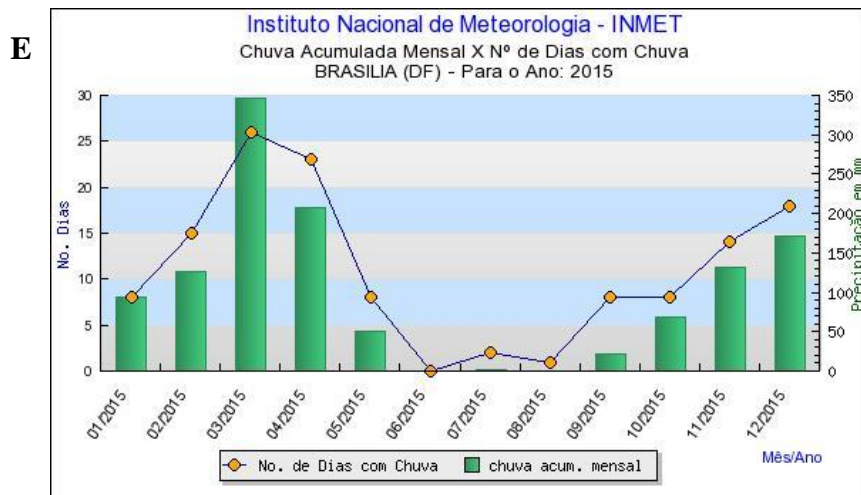


Figura 5.4 – E - Chuva acumulada mensal x nº de dias com chuva no ano de 2015.
(Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016)

Além dos dados referentes à pluviometria é importante também determinar qual a vazão afluente à ETEB Sul durante os dois períodos que definem o clima no Distrito Federal para avaliar a influência das estações do ano na operação da estação de tratamento de esgoto. Para isso, foram utilizados os dados fornecidos pela CAESB e foram separadas as vazões afluentes referentes aos períodos de estiagem e chuvoso (Tabela 5.2)

A sazonalidade, aliada ao período de férias escolares que, geralmente, ocorre durante o mês de julho (estiagem) contribuem para que as vazões que chegam à ETEB Sul sejam baixas, quando comparadas com às vazões dos períodos chuvosos. Por outro lado, a análise do período chuvoso reforça a hipótese anteriormente apresentada (item 3.3) que, de fato, a rede de esgotamento sanitário tem funcionado como um sistema separador parcial (entrada de águas pluviais na rede de esgotamento sanitário), diferentemente do que foi projetado (sistema separador absoluto, que recebe águas pluviais e esgotamento sanitário por tubulações independentes entre si).

Em média, o período chuvoso apresenta 17% de aumento na vazão quando comparado ao período de seca (Tabela 5.3). O impacto que esse fenômeno de variação sazonal traz para a ETEB Sul pode ser evidenciado por meio do hidrograma comparativo entre o período de estiagem e de chuva apresentado na Figura 5.5. Essa variabilidade tem implicação na operação das estações de tratamento e reforça a importância da implementação da equalização, principalmente nos períodos de vazões mais elevadas (chuvoso) onde a probabilidade de eventos extremos aumenta.

Tabela 5.2 – Vazões médias horárias dos períodos chuvoso e de seca dos anos de 2011 a 2015

Hora	Vazão média horária (L/s)									
	2011		2012		2013		2014		2015	
	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
0	898,2	1172,5	936,1	1162,6	926,2	1142,5	989,5	1195,0	1335,9	1281,1
1	826,4	1089,5	854,8	1066,6	830,0	1066,7	889,1	1095,0	1215,8	1198,1
2	738,9	984,1	747,1	972,8	740,8	953,9	788,4	987,4	1069,0	1095,1
3	638,6	857,9	642,8	876,3	628,9	834,7	684,7	864,3	907,1	951,6
4	530,6	753,8	532,6	771,7	522,1	729,3	560,9	750,6	790,1	808,0
5	429,7	653,2	459,3	694,0	442,5	666,1	476,0	653,4	662,0	708,4
6	394,0	605,2	388,8	642,3	399,1	613,2	419,0	598,9	612,9	635,5
7	433,8	630,9	386,9	640,3	396,0	596,2	422,1	604,4	636,1	652,3
8	542,5	748,3	521,8	720,0	502,6	697,5	532,9	706,1	750,2	754,5
9	788,4	941,5	730,5	942,5	714,0	943,4	767,9	927,4	1062,0	997,4
10	1082,2	1215,8	1032,9	1263,1	1017,5	1227,5	1079,7	1195,6	1453,5	1308,0
11	1305,1	1447,3	1297,4	1497,5	1240,8	1458,9	1294,8	1446,5	1707,0	1547,4
12	1447,6	1578,4	1456,9	1654,1	1400,9	1625,0	1435,0	1583,2	1907,8	1712,2
13	1548,6	1661,4	1564,5	1757,6	1473,3	1683,1	1527,0	1667,2	1978,4	1791,7
14	1566,0	1692,1	1582,8	1771,5	1518,1	1729,3	1555,0	1730,0	2013,5	1822,0
15	1625,8	1717,0	1577,3	1794,4	1537,5	1748,6	1537,9	1739,5	2019,1	1821,3
16	1458,8	1659,1	1604,6	1708,1	1467,2	1678,0	1487,8	1706,6	1934,7	1780,1
17	1358,0	1565,7	1418,2	1613,0	1355,9	1567,7	1372,5	1617,1	1827,9	1706,7
18	1277,6	1469,7	1289,1	1501,0	1248,0	1470,9	1290,6	1507,5	1716,9	1616,0
19	1186,8	1384,1	1206,3	1401,5	1169,2	1390,8	1203,1	1442,9	1632,2	1553,3
20	1145,1	1343,5	1152,4	1356,9	1102,2	1322,0	1164,6	1359,4	1568,9	1478,5
21	1078,9	1301,0	1096,6	1313,0	1054,9	1273,6	1113,9	1322,7	1512,7	1436,6
22	1023,7	1251,5	1046,3	1245,2	1023,8	1235,0	1082,7	1308,9	1469,8	1373,6
23	979,8	1229,9	1002,4	1224,4	968,6	1199,5	1029,4	1302,4	1419,7	1344,6
Média	1012,7	1206,4	1022,0	1232,9	986,7	1202,2	1029,4	1221,3	1383,5	1307,2

Tabela 5.3- Comparação percentual entre a vazão média horária nos períodos chuvoso e de estiagem

Vazão média horária período de estiagem (L/s)						
Hora/Ano	2011	2012	2013	2014	2015	Média
0	898,2	936,1	926,2	989,5	1335,9	1017,2
1	826,4	854,8	830,0	889,1	1215,8	923,2
2	738,9	747,1	740,8	788,4	1069,0	816,8
3	638,6	642,8	628,9	684,7	907,1	700,4
4	530,6	532,6	522,1	560,9	790,1	587,3
5	429,7	459,3	442,5	476,0	662,0	493,9
6	394,0	388,8	399,1	419,0	612,9	442,8
7	433,8	386,9	396,0	422,1	636,1	455,0
8	542,5	521,8	502,6	532,9	750,2	570,0
9	788,4	730,5	714,0	767,9	1062,0	812,6
10	1082,2	1032,9	1017,5	1079,7	1453,5	1133,1
11	1305,1	1297,4	1240,8	1294,8	1707,0	1369,0
12	1447,6	1456,9	1400,9	1435,0	1907,8	1529,6
13	1548,6	1564,5	1473,3	1527,0	1978,4	1618,4
14	1566,0	1582,8	1518,1	1555,0	2013,5	1647,1
15	1625,8	1577,3	1537,5	1537,9	2019,1	1659,5
16	1458,8	1604,6	1467,2	1487,8	1934,7	1590,6
17	1358,0	1418,2	1355,9	1372,5	1827,9	1466,5
18	1277,6	1289,1	1248,0	1290,6	1716,9	1364,5
19	1186,8	1206,3	1169,2	1203,1	1632,2	1279,5
20	1145,1	1152,4	1102,2	1164,6	1568,9	1226,6
21	1078,9	1096,6	1054,9	1113,9	1512,7	1171,4
22	1023,7	1046,3	1023,8	1082,7	1469,8	1129,2
23	979,8	1002,4	968,6	1029,4	1419,7	1080,0

Vazão média horária período chuvoso (L/s)							Diferença
Hora/Ano	2011	2012	2013	2014	2015	Média	%
0	1172,5	1162,6	1142,5	1195,0	1281,1	1190,7	17,1
1	1089,5	1066,6	1066,7	1095,0	1198,1	1103,2	19,5
2	984,1	972,8	953,9	987,4	1095,1	998,6	22,3
3	857,9	876,3	834,7	864,3	951,6	877,0	25,2
4	753,8	771,7	729,3	750,6	808,0	762,7	29,9
5	653,2	694,0	666,1	653,4	708,4	675,0	36,7
6	605,2	642,3	613,2	598,9	635,5	619,0	39,8
7	630,9	640,3	596,2	604,4	652,3	624,8	37,3
8	748,3	720,0	697,5	706,1	754,5	725,3	27,2
9	941,5	942,5	943,4	927,4	997,4	950,5	17,0
10	1215,8	1263,1	1227,5	1195,6	1308,0	1242,0	9,6
11	1447,3	1497,5	1458,9	1446,5	1547,4	1479,5	8,1
12	1578,4	1654,1	1625,0	1583,2	1712,2	1630,6	6,6
13	1661,4	1757,6	1683,1	1667,2	1791,7	1712,2	5,8
14	1692,1	1771,5	1729,3	1730,0	1822,0	1749,0	6,2
15	1717,0	1794,4	1748,6	1739,5	1821,3	1764,2	6,3
16	1659,1	1708,1	1678,0	1706,6	1780,1	1706,4	7,3
17	1565,7	1613,0	1567,7	1617,1	1706,7	1614,1	10,1
18	1469,7	1501,0	1470,9	1507,5	1616,0	1513,0	10,9
19	1384,1	1401,5	1390,8	1442,9	1553,3	1434,5	12,1
20	1343,5	1356,9	1322,0	1359,4	1478,5	1372,0	11,9
21	1301,0	1313,0	1273,6	1322,7	1436,6	1329,4	13,5
22	1251,5	1245,2	1235,0	1308,9	1373,6	1282,8	13,6
23	1229,9	1224,4	1199,5	1302,4	1344,6	1260,2	16,7
Média							17,1

Para tentar contornar o problema de lançamento indevido de águas pluviais na rede coletora de esgotos é interessante que exista volume útil extra previsto no sistema de equalização, além da reserva técnica (10 – 20% a mais que o volume teórico calculado) disponível para que seja capaz de absorver os picos hidráulicos inesperados.

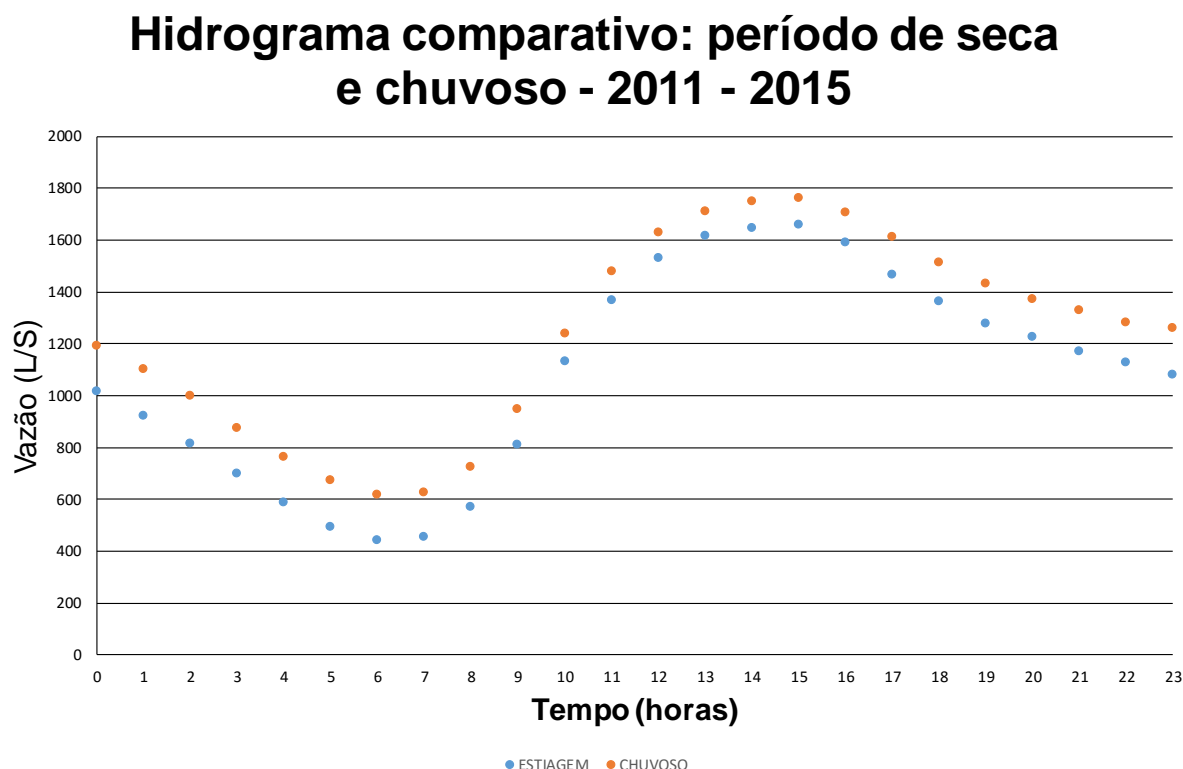


Figura 5.5 – Hidrograma comparativo das vazões nos períodos de seca e de chuva da ETEB Sul entre os anos de 2011 a 2015.

5.1.3. Vazões máximas

Os sistemas de equalização de vazão são, tradicionalmente, construídos a partir das vazões médias que afluem às ETEs. No entanto, é importante avaliar o comportamento das vazões máximas e, avaliar se as estruturas utilizadas para a equalização também podem assumir um papel de amortecimento de picos de chuva em eventos críticos. Dessa forma, foram avaliados i) se as estruturas existentes são adequadas para realizar a equalização de vazões e, ii) se essas estruturas conseguem desempenhar um papel “secundário” de amortecimento de picos de cheia dentro da ETE e dessa maneira equalizar até os fluxos mais intensos, superiores aos planejados, ou seja, aqueles utilizados para equalizar as vazões.

Para avaliar esses parâmetros, inicialmente, foi construído um hidrograma comparativo das médias de vazões médias horárias com a média das vazões máximas horárias no período de 2011 – 2015. Como é possível observar pela Tabela 5.4 e pela Figura 5.6 e existe uma grande diferença percentual entre as vazões médias e as vazões máximas sendo que, em média, as vazões máximas apresentam vazão de cerca de 220% superior às vazões médias.

Tabela 5.4. - Comparação das vazões médias e máximas horárias.

Hora/Ano	Vazões Máximas Horárias (L/s)						Vazões Médias Horárias (L/s)	Diferença %
	2011	2012	2013	2014	2015	Média		
0	3520	4202	2761	4200	2650	3467	1124	208
1	3823	4196	2537	4222	2914	3538	1035	242
2	2474	3378	1968	4141	4084	3209	929	245
3	1931	3814	2620	2519	2225	2622	809	224
4	2044	3850	2976	4200	1720	2958	696	325
5	1645	4200	3820	4200	2040	3181	605	426
6	1430	4777	4207	4218	1882	3303	551	500
7	1560	2256	2625	3128	1757	2265	560	305
8	7533	2468	2776	2791	1391	3392	665	410
9	1901	2246	4219	3431	1856	2731	897	204
10	2323	3380	4213	2550	2154	2924	1200	144
11	3932	3720	4214	3744	3467	3815	1437	166
12	3363	3282	4223	4200	3219	3657	1592	130
13	3411	4250	3046	4200	2959	3573	1677	113
14	3704	2919	3114	4191	2910	3368	1711	97
15	4143	3600	3478	4205	3490	3783	1725	119
16	4143	4200	4219	4238	5108	4382	1662	164
17	4012	3920	3731	4214	5108	4197	1558	169
18	4143	3185	4204	4224	4742	4100	1456	182
19	2820	3994	3911	4232	4208	3833	1376	179
20	4143	3251	3227	4210	4228	3812	1315	190
21	3916	4213	2839	4228	3327	3705	1269	192
22	3927	4207	3624	4231	2733	3744	1224	206
23	3721	4225	3417	4209	3604	3835	1192	222
	Média						223	

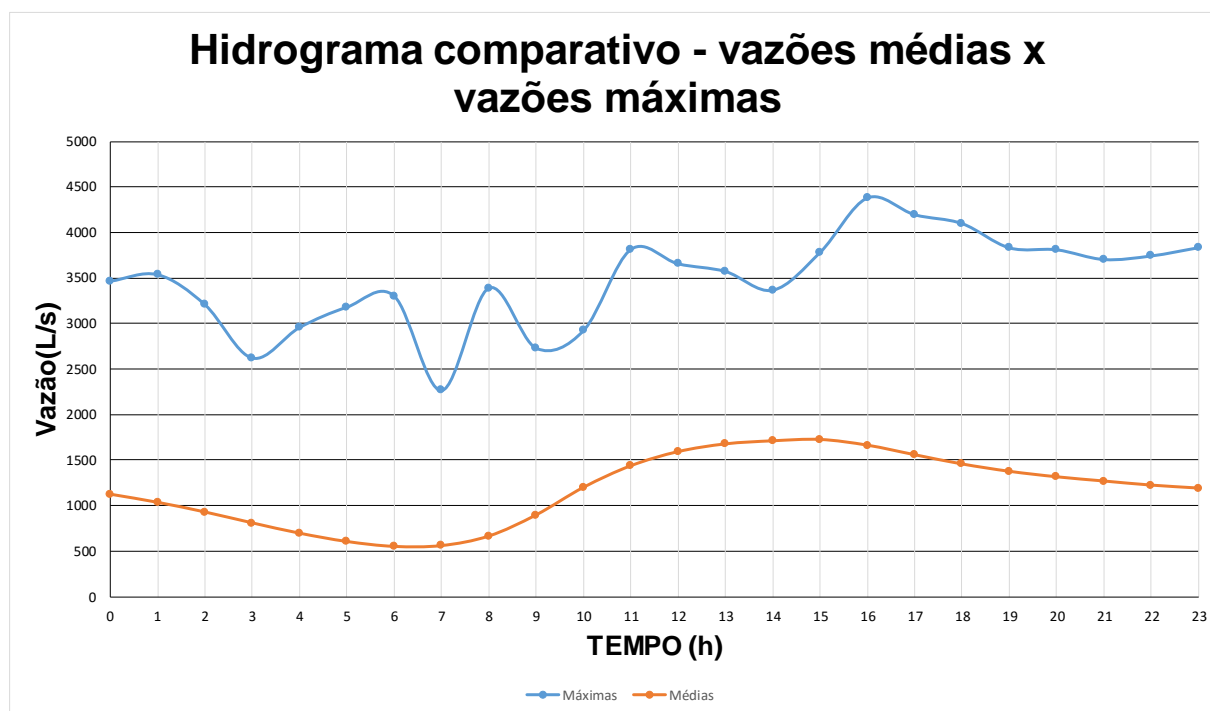


Figura 5.6 – Hidrograma comparativo das vazões médias e máximas horárias da ETEB Sul entre os anos de 2011 a 2015

5.2. DIAGRAMA DE MASSA – ETEB SUL

O diagrama de massa é o método mais comumente utilizado para realizar o dimensionamento dos tanques de equalização. Esse método calcula um volume teórico necessário para a construção dessas unidades. O método de construção do diagrama foi apresentado no tópico 3.8.1.

Os dados utilizados para a construção do diagrama de massa (Figura 5.7) são apresentados na Tabela 5.5. Não foi realizado o balanço de concentração como havia sido previsto na metodologia, pois, não existem dados diários ou horários das concentrações de parâmetros físico-químicos uma vez que as coletas são obtidas, entre dois e três dias, inviabilizando o cálculo por meio dessa metodologia.

Tabela 5.5 – Dados de Vazão, Vazão acumulada e volume acumulado na ETEB Sul utilizados para construção do diagrama de massa para vazão média.

Hora	Vazão média horária (L/s)	Vazão Acumulada (m³/s)	Volume Acumulado (m³)
0	1124	1,12	4047,58
1	1035	1,03	3725,71
2	929	0,93	3343,97
3	809	0,81	2913,56
4	696	0,70	2505,14
5	605	0,60	2176,93
6	551	0,55	1983,07
7	560	0,56	2015,67
8	665	0,66	2393,54
9	897	0,90	3230,68
10	1200	1,20	4319,66
11	1437	1,44	5173,19
12	1592	1,59	5731,75
13	1677	1,68	6036,38
14	1711	1,71	6158,11
15	1725	1,73	6211,17
16	1662	1,66	5984,68
17	1558	1,56	5607,32
18	1456	1,46	5241,98
19	1376	1,38	4951,91
20	1315	1,32	4734,90
21	1269	1,27	4567,70
22	1224	1,22	4406,60
23	1192	1,19	4289,71

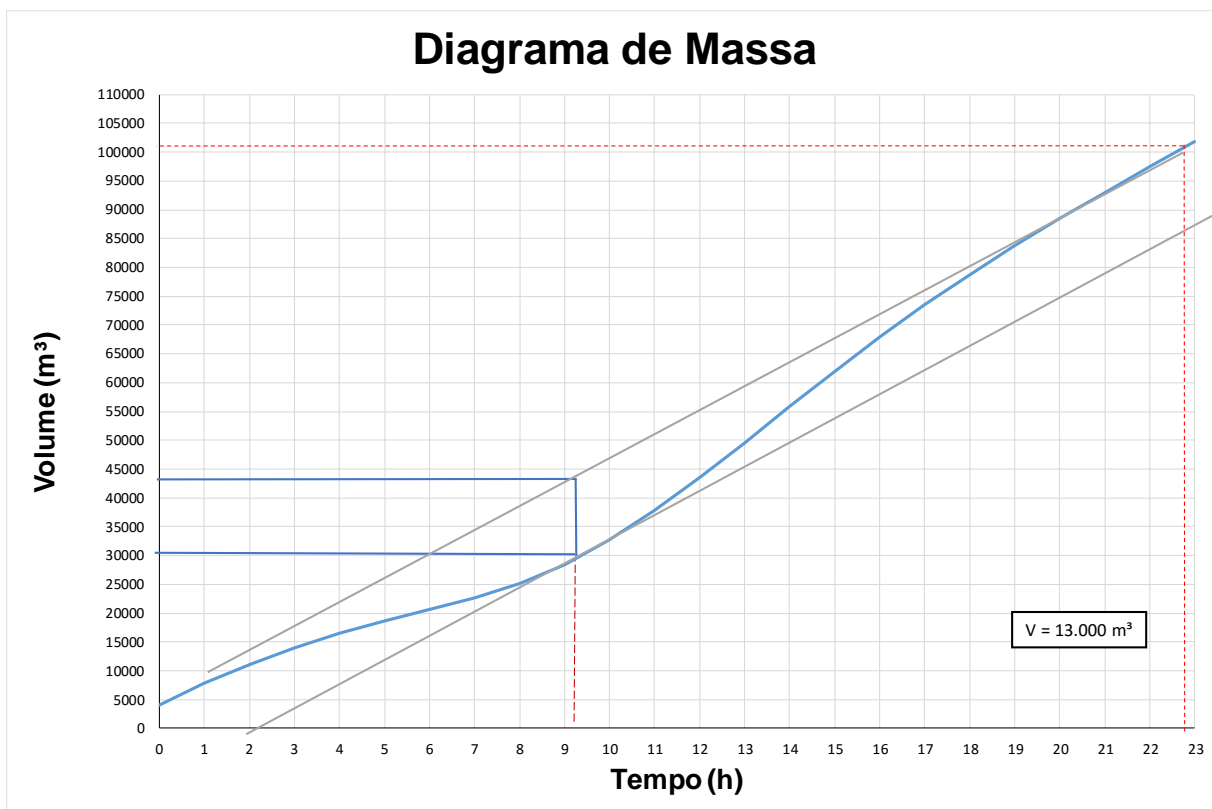


Figura 5.7 – Diagrama de massa com base nas vazões médias horárias dos anos de 2011 a 2015 - ETEB Sul.

O primeiro ponto a ser observado no gráfico apresentado na Figura 5.7 é o ponto em que o reservatório está completamente vazio. Esse ponto se dá por volta de 9h da manhã e é representado pelo ponto de tangência inferior da curva de volumes acumulado com a linha diagonal traçada paralelamente a linha de volume médio diário. A partir desse horário o reservatório começa a se encher devido ao fato de que as vazões afluentes superam as vazões médias.

É nítido esse comportamento no gráfico, onde a curva de volume acumulado vai aumentando até chegar ao seu máximo, por volta das 23h. A partir desse momento o reservatório encontra-se completamente cheio e, então começa a esvaziar novamente pois as vazões afluentes são inferiores às vazões médias. O esvaziamento ocorre até o ponto em que o reservatório se encontra completamente vazio novamente, às 9h.

O volume teórico do reservatório é obtido pela diferença vertical entre a diagonal do volume médio acumulado e a sua linha paralela que tangencia a curva de volumes acumulados. Para a ETE Brasília Sul o valor do volume teórico foi obtido por meio da Equação 5.1:

$$42.000 - 29.000 = 13.000\text{m}^3 \quad (5.1)$$

$$13.000 \times 1,2 = 15.600 \text{ m}^3 \quad (5.2)$$

É importante ressaltar que o volume encontrado por meio desse método é um volume teórico e, portanto, não considera algumas externalidades. Por isso, Metcalf & Eddy (2016) recomenda que o volume real de armazenamento tenha uma capacidade de armazenamento extra de 10 – 20%. Dentro dessas externalidades podem ser citadas, por exemplo, a necessidade de espaço de armazenamento extra para vazões afluentes superiores às esperadas, acondicionamento de equipamentos de mistura e de aeração, entre outros. Dessa forma, o volume necessário de equalização, com 20% de volume extra de armazenamento, será de 15.600 m^3 (Equação 5.2).

5.2.1. Diagrama de Massa para o período chuvoso

Como discutido anteriormente, a pluviometria pode afetar a operação na ETEB Sul, impactando, entre outros, a unidade de equalização. Com objetivo de avaliar o efeito da chuva sobre a bacia de equalização, foi construído um diagrama de massa levando em consideração as vazões médias horárias dos meses chuvosos. O método de elaboração do diagrama de massa é o mesmo utilizado anteriormente para a construção do diagrama (apresentado na Figura 5.7). Os dados utilizados para realizar os cálculos e criação do diagrama para as vazões médias dos meses chuvosos são apresentados na Tabela 5.6 e o diagrama de massa resultante é apresentado na Figura 5.8.

Tabela 5.6 – Dados para construção do diagrama de massa para o período chuvoso

Hora	Vazão (L/s)	Vazão Acumulada (m³/s)	Volume Acumulado (m³)
0	1190,7	1,2	4286,6
1	2293,9	2,3	8258,2
2	3292,6	3,3	11853,3
3	4169,6	4,2	15010,4
4	4932,2	4,9	17756,1
5	5607,3	5,6	20186,2
6	6226,3	6,2	22414,7
7	6851,1	6,9	24664,0
8	7576,4	7,6	27275,0
9	8526,8	8,5	30696,6
10	9768,8	9,8	35167,7
11	11248,3	11,2	40494,0
12	12878,9	12,9	46364,0
13	14591,1	14,6	52528,0
14	16340,1	16,3	58824,3
15	18104,2	18,1	65175,3
16	19810,6	19,8	71318,2
17	21424,7	21,4	77128,8
18	22937,7	22,9	82575,8
19	24372,2	24,4	87740,0
20	25744,3	25,7	92679,4
21	27073,7	27,1	97465,2
22	28356,5	28,4	102083,4
23	29616,7	29,6	106620,0

Diagrama de Massa - Período chuvoso

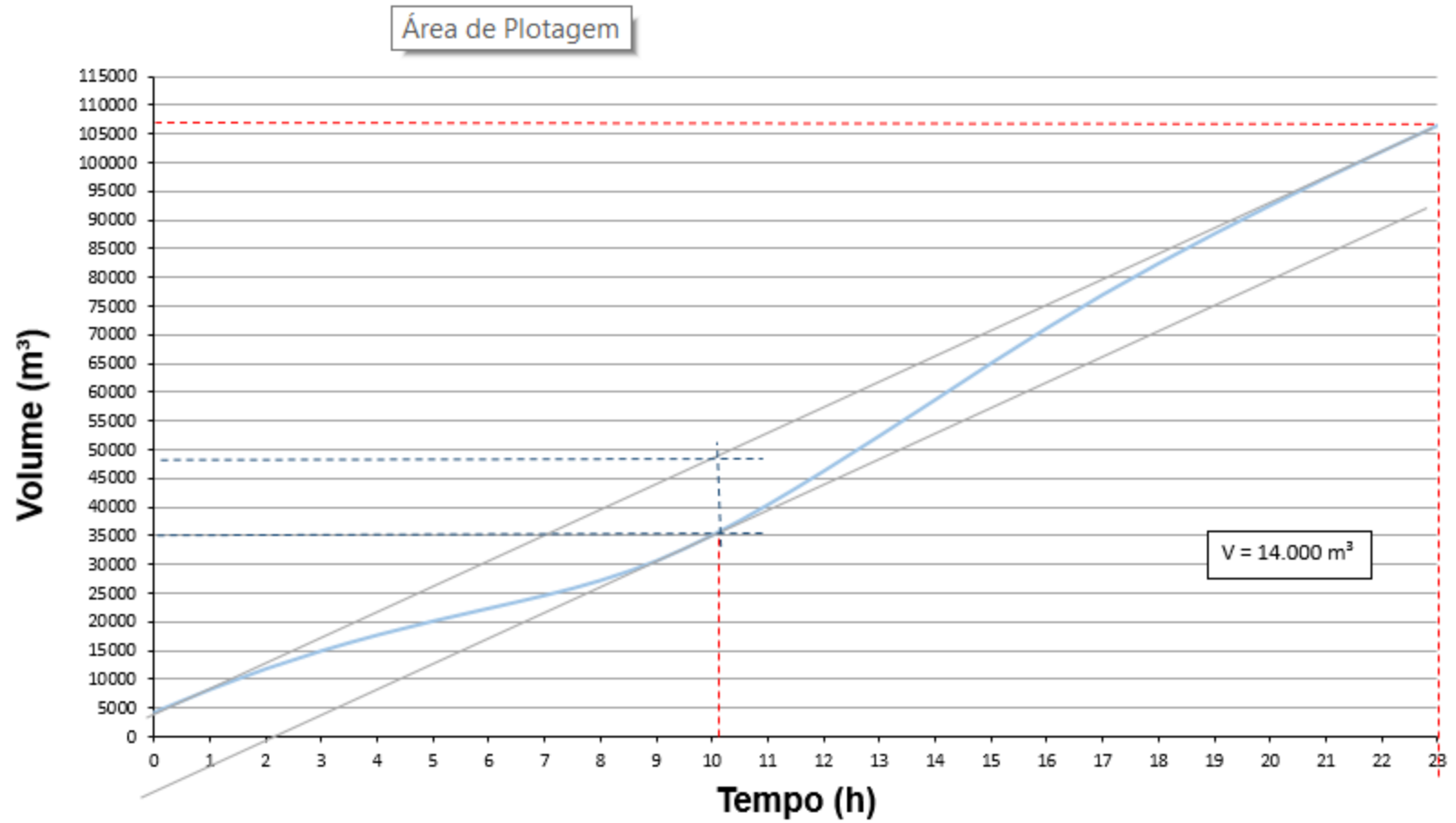


Figura 5.8 – Diagrama de massa das vazões médias horárias para o período chuvoso no período de 2011 a 2015– ETEB Sul

Caso a construção dos tanques de equalização levasse em consideração somente as vazões médias horárias do período chuvoso, o volume necessário para armazenar as vazões afluentes seria superior, como era de se esperar. O volume teórico passaria de 13.000m³ para 14.000m³ e o volume real, ou seja, o teórico mais o acréscimo de 20% da reserva técnica (10 – 20%) passaria de 15.600m³ para 16.800m³.

O tanque estaria completamente vazio às 10h e completamente cheio às 23h, momento a partir do qual começa a ser esvaziado até voltar ao seu estado inicial (vazio) por volta das 10h

5.3. VOLUME DISPONÍVEL – ESTRUTURAS “ANTIGAS” ETEB SUL

A ETE Brasília Sul foi construída no início década de 1960 e passou por reformas no início dos anos 1990 para atender às demandas da população do DF. Grande parte da estrutura que era usada na década de 1960 não é utilizada na operação diária atual da ETE e, dessa forma, foi observada a disponibilidade de unidades atualmente desativadas que poderiam ser utilizadas como uma forma de equalizar as vazões. As unidades disponíveis e seus respectivos volumes são apresentados na Tabela 5.7

Tabela 5.7 – Volume útil disponível nas estruturas físicas, número de unidades disponíveis e volume útil total dessas estruturas na ETE Brasília Sul.

	Volume útil Individual (m ³)	Número de unidades	Volume útil total (m ³)
Decantadores Primários	1900	2	3800
Tanques de Aeração	316	36	11376
Decantadores Secundários	2100	3	6300
Total			21476

Os decantadores primários são unidades circulares com diâmetro de 28 m, profundidade de 3m cada e volume útil de 1900 m³. O efluente dos decantadores primários alimentava os tanques de aeração através de três canais.

A ETE antiga possui conjunto de tanques de aeração compostos de duas séries de 6 células cada tanque (Figura 5.9). Cada uma das células dos tanques de aeração são estruturas com 9,00m de comprimento por 9,00m de largura e 4,125m de profundidade. Cada série de 6 células são interligadas pelo fundo não possuindo interligação com as demais séries de células. A alimentação das séries de células é realizada pela parte superior da unidade através de manobras de comportas.

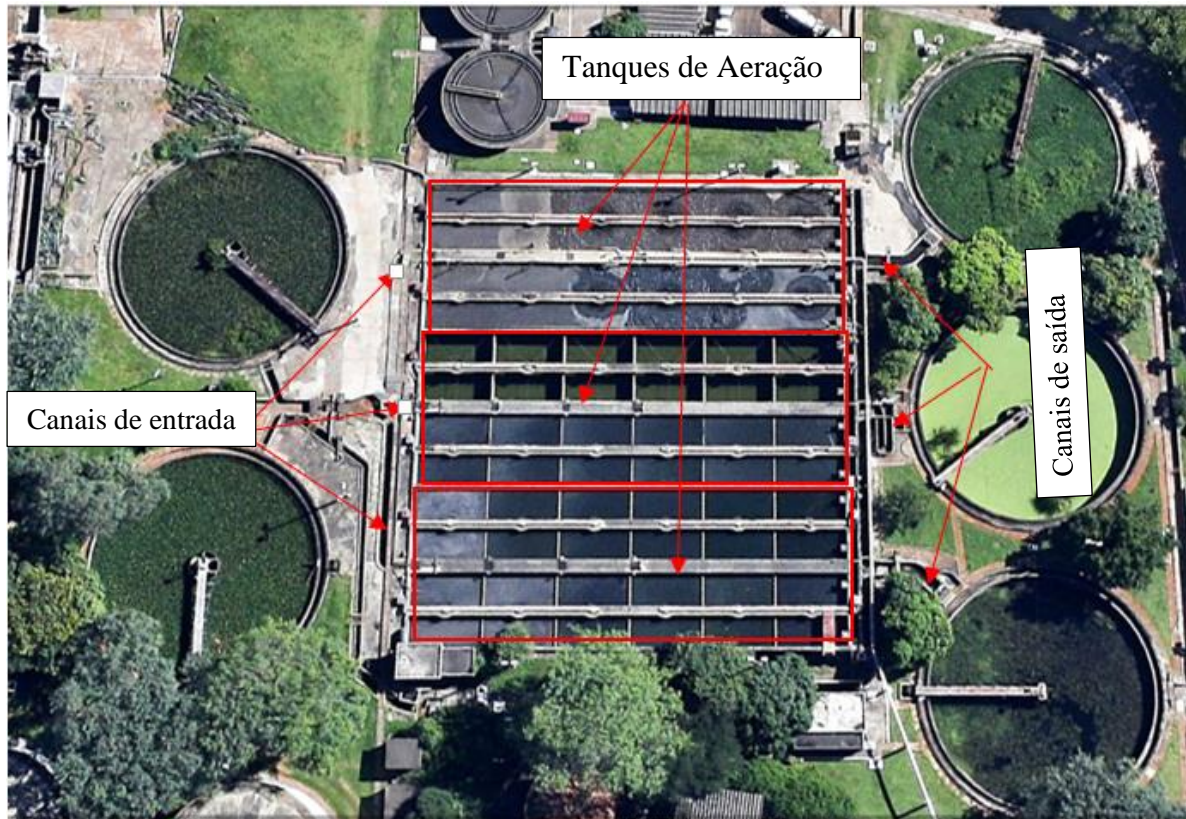


Figura 5.9 – Vista aérea das unidades da antiga da ETEB Sul. (Fonte: Google Earth, 2016)

Cada canal de alimentação está situado entre as duas séries de células dos tanques de aeração e permite flexibilidade operacional, uma vez que o esgoto efluente dos decantadores primários poderia ser direcionado para qualquer série de tanques de aeração, sendo possível manobrar suas respectivas comportas.

É importante frisar que o volume útil total disponível de todas as unidades disponíveis da ETE antiga (21.476m^3) é cerca de 38% superior à capacidade real necessária para realizar equalização (15.600m^3) e cerca de 28% superior ao volume necessário par armazenar as vazões

nos períodos chuvosos (16.800m³), demonstrando a grande capacidade extra de armazenamento que o sistema apresenta. Dessa forma, é provável que mesmo alguns dos eventos extremos possam ser amortecidos nas unidades de equalização, se utilizada a capacidade da ETE antiga.

Os decantadores secundários foram construídos de forma similar aos decantadores primários. Apresentam forma circular com volume de armazenamento de 2100m³, diâmetro de 28m e profundidade de 3,4m.

As combinações dessas unidades possuem volume útil suficiente para alocar a equalização de vazões. A Tabela 5.8 apresenta uma proposta de alternativa a ser utilizada para realizar a equalização de vazões utilizando as estruturas atualmente fora de operação na ETE Sul.

Tabela 5.8 – Relação dos volumes total disponível, mínimo necessário para realizar equalização e sugestão de unidades a serem utilizadas.

Característica		Volume (m³)
Total Disponível		22.176
Necessário para equalização		15.600
Sugestão	1 DP + 36 TA + 3 DS	19.576

* DP = Decantador Primário; TA= Tanques de Aeração; DS = Decantador Secundário;

A sugestão contemplada na Tabela 5.8 utilizará tanto unidades circulares (Decantadores primários e secundários) quanto retangulares (tanques de aeração). No caso dos tanques circulares, principalmente, se for escolhido utilizar aeradores mecânicos, pode ser necessário a utilização de cortinas para assegurar a mistura completa (Metcalf & Eddy, 2016). Metcalf & Eddy (2016) sugerem ainda que os aeradores sejam dotados de controles de desligamento por nível, de forma a proteger os aeradores no esvaziamento das bacias. Como as unidades vão ser esvaziadas diariamente, é recomendado também que os aeradores possuam pernas ou tubos de sucção que permitam que estes possam estar apoiados no fundo da bacia sem danos.

A opção proposta utilizaria somente um dos dois decantadores primários, pois, um DP está atualmente sendo utilizado para realizar a equalização do sobrenadante do adensador por flotação. Seria utilizado ainda 36 tanques de aeração e três decantadores secundários. Tem um volume de cerca de 25% superior ao volume necessário para realizar a equalização. Dos 36 tanques de aeração 24 seriam utilizados permanentemente para equalizar as vazões afluentes, as outras 12 unidades restantes ficariam em “*stand-by*”. O volume extra (25% superior ao necessário), aliado ao fato de ainda existirem 12 tanques sem utilização desempenhariam um papel importante durante eventos extremos, principalmente no período chuvoso, onde, devido às intensas chuvas convectivas na região do DF, a vazão sobe abruptamente em questão de poucos minutos e, essas unidades poderiam, portanto, evitar que esse volume extra prejudicasse o tratamento ou necessitasse de *by-pass* e pudesse ficar retido nas unidades de equalização até que as condições retornassem ao normal, principalmente porque as chuvas convectivas são, geralmente, intensas e de pequena duração. Os 12 tanques de aeração que não seriam utilizados, além de servirem como forma de amortecimento para eventos extremos, poderiam também ser utilizados quando outro conjunto de tanques precisasse parar de funcionar por algum motivo, como manutenção ou algum outro tipo de problema que pudesse surgir.

Ressalta-se a importância de se utilizar todas essas unidades, tanto pelas vantagens apresentadas acima, quanto pela facilidade de utilizá-las em sequência, devido ao fato de o esgoto fluir por gravidade dos decantadores primários para os tanques de aeração e destes para os decantadores secundários. Sendo que a utilização de bombas se faria necessário somente para bombear os efluentes dos tanques de equalização para o início do processo de tratamento.

5.4. AERAÇÃO E MISTURA

De acordo com Metcalf & Eddy (2016), a implementação de equipamentos de mistura e aeração são imprescindíveis para evitar problemas nos tanques de equalização. A aeração evita que os esgotos apresentem septicidade e odores. Em alguns casos pode ser que não seja necessário a utilização de aeradores, quando as bacias estão situadas após os decantadores primários e com baixos tempos de detenção (inferiores a 2 horas).

Os sistemas de mistura são especialmente recomendados para tanques de equalização localizados antes da decantação primária e antes do tratamento biológico. Quando possível, a

mistura deve evitar que haja a deposição de sólidos nos fundos dos tanques, reduzindo a existência de zonas mortas e fazendo com que o efluente apresente característica mais constante ao longo do dia, fazendo com que a equalização auxilie no aumento da eficiência das unidades a jusante do processo.

Alguns dos pontos a serem observados que devem auxiliar na mistura eficiente é colocar os misturadores o mais próximo possível do ponto onde as vazões entram nos tanques de equalização e, garantir que as vazões sejam pré-tratadas, preferencialmente, por meio de algum tipo de gradeamento seguido de algum dispositivo removedor de areia. Como já citado anteriormente, é importante que, preferencialmente, as bacias de equalização funcionem como um reator de mistura completa e, unidades muito alongadas devem ser evitadas. Quando não é possível a escolha de geometria dos tanques de equalização (aproveitamento de estruturas já construídas) é recomendado utilizar múltiplas entradas e saídas. Essas saídas múltiplas auxiliam, inclusive, na redução dos custos de limpeza e para controle de odores (Metcalf e Eddy, 2016).

Smith *et al.* (1972) reforçam a ideia de que os tanques de equalização devem possuir mistura completa eficiente, e sugere que essa mistura seja feita por meio de ar dissolvido ou misturadores mecânicos superficiais. Eles apontam ainda quais as quantidades necessárias de mistura para águas residuárias com concentração média de sólidos suspensos de 200mg/L. Segundo Smith *et al* (1972) e Metcalf & Eddy (2016), os requerimentos de agitação para águas residuárias com essa característica variam de 0.004 – 0.008 kW/m³ do esgoto armazenado (0.02 – 0.04 HP/10³ galões). Segundo a Tabela 5.9, que apresenta a média dos valores médios de alguns parâmetros físico-químicos da ETE Brasília Sul no período de 2010-2015, pode-se observar que, de fato a concentração média de sólidos suspensos é bem próxima do valor sugerido, sendo igual a 202,4 mg/L. Dessa forma, seria necessário, aproximadamente, uma potência de 133,056 kW para promover a mistura (considerando utilizar todas as unidades para realizar equalização). Esse cálculo pode ser visto por meio da Equação 5.3.

$$0,006 \frac{kW}{m^3} \times 22.176 = 133,056 kW \quad (5.3)$$

Tabela 5.9 – Características das vazões afluentes à ETE Brasília Sul quanto aos seus principais constituintes. Período de análise de 2011 a 2015.

	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Pt (mg/L)	SS (mg/L)	TKN (mg/L)
2010	261,4	517,6	5,9	215,2	50,0
2011	292,3	556,0	5,3	210,2	45,3
2012	257,8	634,6	5,6	193,4	44,6
2013	331,1	586,8	5,6	174,3	44,2
2014	312,4	543,3	5,6	195,0	47,0
2015	324,3	579,2	6,3	226,3	53,4
Média	296,6	569,6	5,7	202,4	47,4

Conforme citado anteriormente, a aeração nos tanques de equalização tem por objetivo gerar aumento nas transferências de oxigênio para a água residuária para que o ambiente não se torne séptico e haja redução na emissão de odores. A aeração pode também acelerar os processos aeróbicos microbianos, de forma similar ao que ocorre em uma lagoa aerada, promovendo certo grau de tratamento nos próprios tanques de equalização (McDuff & Chiang, 1972).

Smith *et al.* (1972), USEPA (1974) e Metcalf & Eddy (2016) afirmam que, para manter as condições aeróbias dentro das unidades de equalização é necessário que seja fornecido ar a uma taxa de 0,01 – 0,015 m³/ m³.min.

Assumindo que todas as unidades da ETE antiga serão utilizadas para a equalização, a injeção de ar deverá ocorrer a uma taxa de, aproximadamente, 277,2 m³/min para que as condições aeróbias sejam garantidas. Esse cálculo pode ser visto por meio da Equação 5.4.

$$0,0125 \times 22.176 \cong 277,2 \frac{m^3}{min} \quad (5.4)$$

Por fim, recomenda-se ainda que, caso sejam utilizados aeradores mecânicos, a taxa de transferência de oxigênio (operando em condições ambientais padrões) seja de 1,36 – 1,81 kg/hp-hr. Em alguns casos pode ser que a potência requerida para evitar que haja deposição de sólidos no fundo dos tanques seja bem superior à potência necessária para garantir a mistura e a transferência de oxigênio. Nesses casos, pode ser que seja mais econômico instalar

equipamentos de mistura que sejam capazes de manter os sólidos em suspensão na massa líquida e para fornecer o ar necessário através de equipamentos de ar dissolvido ou através da instalação de aeradores flutuantes (USEPA, 1974). A utilização de ar dissolvido já havia sido contemplada anteriormente no trabalho de Smith *et al.* (1972).

No caso dos aeradores flutuantes, Metcalf & Eddy (2016) recomenda que, quando esses equipamentos forem utilizados para prevenir a formação de condições sépticas e de odores, deve-se garantir uma profundidade mínima para proteger os aeradores. Geralmente a profundidade mínima de água varia entre 1,5 - 2,0m. Segundo McDuff & Chiang (1972), a posição ideal dos aeradores é aquela em que a taxa de transferência de oxigênio é máxima e, dos misturadores é aquela em que se obtém a mistura de forma mais eficiente possível.

A ETE Brasília Norte conta com sistema de equalização desenvolvido no trabalho de Nakazato (2005), no entanto, o sistema não possui aeradores e o tempo de detenção dentro dos tanques de equalização é superior a 12 horas, fatores esses que podem contribuir para os problemas com odores enfrentados nessa unidade.

As principais conclusões quanto à equalização de vazões na ETEB-Norte foram: i) as estruturas presentes foram capazes de promover a regularização de fluxos, ii) é possível operar um sistema de tratamento mais compacto quando as vazões afluentes se aproximam da vazão média, iii) em períodos de armazenamento de até 24 horas, as alterações nos constituintes não sofreram significativas alterações, mantendo a qualidade do efluente, iv) a equalização apresentou desempenho no tratamento superior ao da fase que não contava com equalização (Nakazato, 2005).

Inicialmente, o sistema de equalização utilizava o misturador dos decantadores primários e secundários originais da ETEB-Norte da década de 1960, no entanto, com o passar do tempo essas unidades se desgastaram e atualmente não estão em funcionamento. Dessa forma, atualmente o processo de mistura se dá por meio de mistura hidráulica, ou seja, através da movimentação do esgoto dentro das unidades de tratamento. Como o afluente movimenta-se por gravidade dos decantadores primários para os tanques de aeração e desses para os decantadores secundários, existe movimentação do fluxo capaz de promover mistura suficiente para que o processo tenha um bom desempenho.

Além disso, dentro dos tanques de aeração foram criados canais de comunicação entre as estruturas, de forma que o fluxo afluyente dos decantadores primários se movimenta continuamente dentro dos tanques, promovendo mistura adequada para o bom funcionamento do sistema.

A alimentação dos decantadores secundários é realizada através de descartes programados dos tanques de aeração contribuindo para mistura da massa líquida nas unidades. Essas unidades (DP, TA, DS) não foram construídas com o objetivo de funcionar como tanques de equalização, no entanto, devido ao seu elevado volume que não tem sido utilizado e, o modo como podem ser operadas, fazem com que sejam boas opções para implantação e operacionalização da equalização de vazões.

Alguns dos resultados que esse sistema já trouxe para a ETEB-Norte desde sua implantação foram: i) não houve aumento nas taxas de remoção de DBO, DQO, SS, NTK e PT, mas a concentração desses constituintes, que já era alta, manteve-se elevada mesmo com aumento da vazão de 20% ii) 17% de economia de energia operacional (não utiliza aeradores e nem misturadores mecânicos), iii) estabilidade do sistema (pequenas variações de cargas hidráulicas e de constituintes), facilitando as operações com válvulas e dosagem de produtos químicos, facilitando a operação do sistema, iv) eliminação do *by-pass* diretamente para o corpo receptor (Lago Paranoá), v) redução na frequência da manobra de recirculação noturna. No entanto, a estação vem apresentando problema com a geração de odores no sistema de equalização e os resultados quanto à utilização de produtos químicos não foi conclusiva (Luduvic, 2011).

5.5.MODO OPERACIONAL DAS ETE BRASÍLIA NORTE E SUL

As ETE Brasília Norte e Brasília Sul possuem estruturas e modo de operação muito similares, no entanto, a média de vazão anual e vazão de projeto na ETEB Sul são respectivamente de 1112,3 L/s e 1500 L/s, respectivamente, enquanto que na ETEB Norte é de 476,7 L/s e 920L/s, respectivamente (SIESG, 2014).

Devido às similaridades entre as duas estações, pode-se inferir que o sistema de equalização funcionará de forma semelhante em ambas as ETEs. Partindo desse pressuposto e

de que a equalização funciona de forma eficiente na ETEB Norte (mesmo com problemas pontuais), a sugestão para a ETEB Sul será utilizar o Sistema de Equalização de Fluxos em Paralelo com aproveitamento das antigas estruturas de tratamento preliminar (gradeamento e desarenador) seguido da tancagem nos DP, TA e DS. No entanto, atualmente o gradeamento e os desarenadores não estão em funcionamento e seria recomendado que estas unidades voltassem a funcionar para a remoção de materiais grosseiros, areia e parte dos sólidos inorgânicos. Além disso, é importante salientar que, atualmente a equalização na ETEB Norte também não tem utilizado sistema de tratamento preliminar e, mesmo assim, a equalização tem funcionado de maneira eficiente.

A questão do problema com emissão de odores na ETEB Norte foi evidenciada no subitem 5.4.1 e as prováveis causas disso são: mau funcionamento/ausência de tratamento preliminar antes da equalização, falta de aeração e de aplicação de inibidores químicos.

Como as estruturas das ETE antigas datam da década de 1960 e permaneceram por diversos anos sem operação não foi possível manter em funcionamento os equipamentos do sistema, além de serem pouco eficientes mesmo em atividade. Vale ressaltar que se torna muitas vezes inviável a operação de equipamentos obsoletos principalmente no que tange a sua manutenção, visto que não existem mais peças de reposição disponíveis no mercado.

Além disso, a revitalização das unidades para desempenharem suas funções de tratamento preliminar são onerosas e podem não ser prioridade de investimento na estação de tratamento. A não utilização de aeração é motivada também pelo elevado custo gerado com o consumo de energia elétrica deste tipo de sistema em estações de tratamento de esgotos. Os sopradores, por exemplo, representam a maior parte do consumo de energia elétrica de uma ETE. Por outro lado, existe também a possibilidade de uso de inibidores químicos que são comumente utilizados como forma de controle de odores devido à sua eficiência para desempenhar esse papel. No entanto, estes produtos são caros e apresentam risco aos operadores em seu manuseio, podem ainda ser corrosivos, danificar as tubulações e as unidades subsequentes do tratamento.

Em relação à mistura, é recomendado que seja realizado uma análise da possibilidade de utilizar as estruturas dos raspadores de lodo nos DPs para avaliar se podem ser adaptados a

funcionarem como misturadores para promover homogeneização do esgoto. Aliado aos misturadores mecânicos, poderia ser adotada a mesma técnica de mistura hidráulica já aplicada na ETEB Norte, porém, no caso da ETEB Sul é provável que o sistema seja mais eficiente, visto que existem mais unidades disponíveis e consequentemente maior capacidade de armazenamento e operabilidade.

5.6.PROPOSTA PRELIMINAR DA EQUALIZAÇÃO DE FLUXOS DA ETE BRASÍLIA SUL

O sistema proposto de equalização contaria com sistema de tratamento preliminar composto por gradeamento para a remoção de sólidos grosseiros e desarenador (caixa de areia) para a remoção de areias e outras partículas inorgânicas. Após o tratamento preliminar o esgoto seria drenado por gravidade para um decantador primário, destes para os tanques de aeração e posteriormente dos tanques de aeração para os decantadores secundários. O decantador primário utilizado deveria ter algum equipamento de mistura, preferencialmente através do aproveitamento dos raspadores de lodo de existente (caso seja viável tecnicamente e economicamente). Além disso, a mistura se dará por gravidade entre os tanques e internamente nas unidades através da movimentação do esgoto dentro das unidades, especialmente nos tanques de aeração, pois possuem maior volume disponível para que esse movimento ocorra.

Idealmente deveria ocorrer aeração nos tanques de aeração, aproveitando os dispositivos já existentes na ETEB Sul (existem aeradores da década de 90 que ainda podem ser utilizados). Deveria também ser avaliado a possibilidade da criação de canais de comunicação entre células circunvizinhas nos tanques de aeração para promover a mistura hidráulica. Um fluxograma da proposta preliminar para equalização de fluxos da ETEB Sul é apresentado na Figura 5.10.

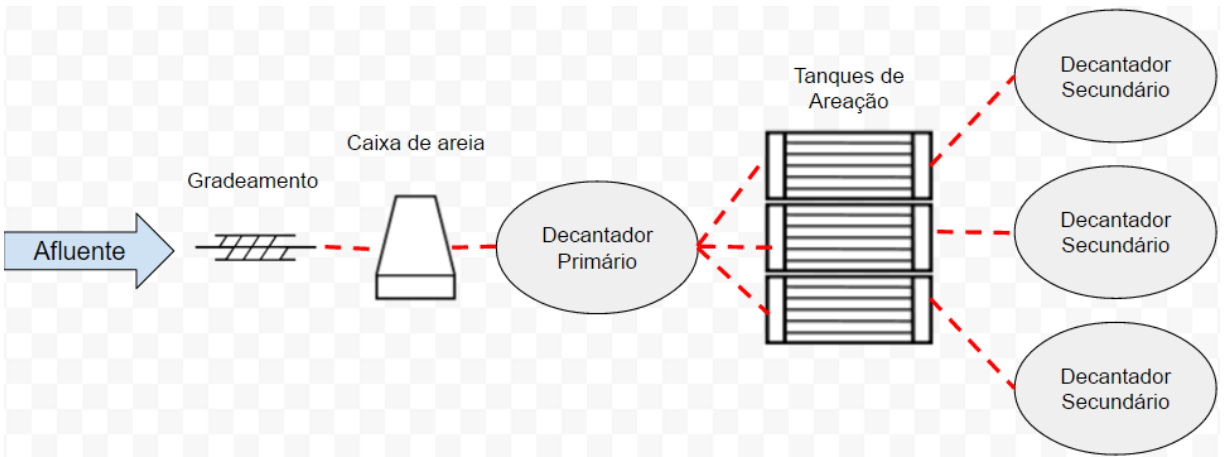


Figura 5.10 – Fluxograma da proposta preliminar da equalização de fluxos na ETEB- Sul.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho objetivou avaliar a possibilidade de implantação do sistema de equalização de vazões na ETEB-Sul. Após a avaliação das vazões médias horárias e do cálculo do volume necessário para a realização da equalização de vazões, pode-se concluir que as unidades existentes possuem capacidade suficiente para que o processo de equalização ocorra com sucesso.

Os volumes existentes das unidades na estrutura da ETEB Sul antiga possuem capacidade suficiente para realizar a equalização de vazões de maneira adequada, inclusive nos períodos chuvosos, onde a vazão é, em média, 17% superior às vazões no período de estiagem.

Mesmo que as condições para realização da equalização não sejam as ideais como preconizado na literatura (aeração, mistura eficiente, possível utilização de produtos químicos, utilização de tratamento preliminar), o sistema provavelmente poderá garantir carga hidráulica e de constituintes relativamente constantes, garantindo maior confiabilidade e estabilidade ao processo. Além disso, a implantação da equalização é muito vantajosa para a ETEB Sul, uma vez que as estruturas já existem e os custos de operação e manutenção são relativamente baixos, principalmente se não houver utilização de aeradores e/ou inibidores químicos, como é o caso da ETEB Norte. Deve ser considerado também que a equalização proporcionará uma maior folga hidráulica ao sistema, visto que as maiores vazões diárias serão armazenadas e tratadas posteriormente.

O sistema de equalização de vazões teve resultados positivos na ETEB Norte com redução em 17% dos gastos operacionais com energia elétrica, otimização das manobras de válvulas e maior facilidade operacional do sistema, eliminação de *by-pass* diretamente para o Lago Paranoá, redução na frequência de manobra de recirculação noturna e possibilidade de aumento da capacidade de tratamento da estação (Luduvic, 2011). Esses resultados positivos são expressivos em termos econômicos e operacionais e, servem como indicativo dos benefícios que a equalização pode trazer para ETEB Sul.

Uma preocupação do sistema de equalização é que, quando o tempo de detenção hidráulico é elevado ocorre um certo grau de tratamento do efluente e o tanque pode se comportar de forma similar à uma lagoa de aeração. No entanto, nos estudos realizados por

Nakazato (2005) na ETEB-Norte ele conclui que não houve alterações significativas nos constituintes em períodos de armazenamento de 24 horas, provando que o efluente é capaz de manter suas características mesmo em elevados tempo de detenção. E, como o tempo teórico de enchimento e esvaziamento dos tanques de equalização é de aproximadamente 14 horas, é bem provável que as características do efluente na ETEB Sul manteriam o comportamento apresentado na ETEB Norte não sofrendo alterações significativas em sua qualidade.

Após avaliar as estruturas físicas existentes na ETEB Sul e analisar o comportamento histórico das vazões nos períodos chuvoso e de estiagem e avaliar sua distribuição horária, é provável que caso o sistema de equalização de vazões seja implementado, este provavelmente irá operar de forma eficiente e irá atender ao seu objetivo principal de garantir maior estabilidade e confiabilidade ao sistema de tratamento como um todo.

7. RECOMENDAÇÕES

O trabalho foi conduzido de forma teórica e não fez medições ou teve a possibilidade de testar o sistema em operação. Portanto, as conclusões e recomendações aqui apresentadas são de caráter preliminar e mais pesquisas são necessárias para avaliar com exatidão os custos associados à implantação do sistema, bem como avaliar a eficiência do processo.

É recomendado principalmente que sejam conduzidos estudos mais detalhados para a avaliação do problema com odor. Baseado na literatura sobre o assunto e na revisão bibliográfica realizada, seria recomendada a adoção da utilização de aeradores nos tanques de equalização se os custos que isso implica fossem aceitáveis por parte da CAESB, pois é possível que os aeradores possam ser uma boa alternativa para a solução do problema de geração de odor.

De acordo com a experiência na ETEB Norte, é possível que o processo possa ser conduzido de forma eficaz sem que haja a instalação de misturadores mecânicos. Ou seja, aproveitamento das estruturas existentes nos decantadores primários e secundários associados a uma mistura hidráulica entre as unidades parece ser a solução mais adequada para garantir a mistura eficiente na ETEB Sul.

É importante observar ainda que as estruturas existentes da ETE antiga possuem volume útil suficiente para realizar a equalização, além de apresentar um volume adicional superior a 37% do necessário (já considerando a reserva técnica), capacitando a estação a amortecer alguns eventos extremos - que acontecem principalmente nos períodos chuvosos e em curto período de tempo - e minimizar a necessidade de *by-pass* dentro da estação, desempenhando dessa maneira duas funções importantes dentro da ETE. Como forma de preservação e proteção do sistema, e também como forma de amortecimento de picos de cheia, recomenda-se que o volume adicional (doze células dos tanques de aeração que não são necessários para equalização) permaneçam em “stand-by” para serem utilizados como recurso emergencial.

Outro ponto importante que deve ser comentado é que, por mais que existam dados horários de vazão, não existem dados horários de análise físico-química, dificultando a análise da influência da vazão na qualidade do esgoto. Segundo recomendações de Metcalf & Eddy (2016), seria interessante que houvesse essa análise de forma a avaliar mais precisamente o

efeito da equalização nos constituintes do sistema (DBO, DQO, SST, etc.). É evidente que para a companhia de saneamento, a adoção de medida horária de parâmetros físico-químicos pode ser dispendiosa e desnecessária, mas para uma melhor avaliação do efeito da equalização nos constituintes físico-químicos é recomendado que sejam conduzidos estudos que realizem a análise de, pelo menos, alguns desses constituintes de hora em hora.

Além disso, é recomendado que seja desenvolvido algum sistema de automação do sistema, que incorpore algum modelo de previsão das vazões afluentes de forma a facilitar a operação do sistema de equalização de vazões.

Portanto, é recomendado que seja utilizada a equalização de vazões na ETEB Sul e que o modo de operação do sistema seja do tipo equalização de fluxos em paralelo, com as vazões passando pelo tratamento preliminar (preferencialmente), mesmo que os desarenadores não estejam atualmente funcionando, a grade consegue reter, pelo menos os sólidos mais grosseiros. Recomenda-se que os desarenadores sejam colocados em funcionamento novamente para auxiliar na redução de odores e melhorar a eficiência do processo de equalização e que as grades sejam trocadas por algum outro mecanismo mais eficiente de retenção de sólidos grosseiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afini Júnior, B. (1989). “DBO *Per Capita*”. *Revista DAE, Saneamento: Radiografia de uma Crise – SABESP*, Vol. 49, Nº. 156, São Paulo – SP
- Alem Sobrinho, P. & Tsutiya, M. T. (2000). *Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário*. 2ª edição, Dehse USP, São Paulo-SP, 547p.
- Bolmstedt, J. “Controlling the Influent Load to Wastewater Treatment Plants”. *Licentiate Thesis*. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University, Lund, Sweden, 123p.
- Benjamin, M. M (2014). *Flow Equalization*. Faculty of Civil and Environmental Engineering, University of Washington. Seattle. Disponível em: <faculty.washington.edu/markbenj/CEE483/Equalization.pdf>. Acesso em 05 nov. 2015
- CAESB (2008). “SIESG – Sistema de esgotos”, *Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal*, Diretoria do Sistema de Esgotos, CAESB, Brasília – DF, Brasil.
- CAESB (2012). “SIESG – Sistema de esgotos”, *Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal*, Diretoria do Sistema de Esgotos, CAESB, Brasília – DF, Brasil.
- CAESB (2014). “SIESG – Sistema de esgotos”, *Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal*, Diretoria do Sistema de Esgotos, CAESB, Brasília – DF, Brasil.
- Ginoris, Y. P. (2013). “Flotação e Centrifugação”. *Curso de Cinética, Processos e Operações Unitárias*. Universidade de Brasília. Brasília – DF, Brasil .
- Goel, R. K.; Flora. J. R. V.; Chen, J. P. (2005). *Physicochemical Treatment Processes – Volume 3 / 1ª edição*, Lawrence K., Hung, Yung-Tse, Shammas, Nazih K. Wang. Totowa : The Humana Press Inc. 724p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). “PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Diretoria de Pesquisas. Rio de Janeiro –RJ. Brasil

GOOGLE. Google Earth. Versão 7.1.5.1557. 2015. Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Sul. Disponível em: < <https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 12 de junho de 2016

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/sim/gera_graficos.php> Acesso em 20 de novembro de 2016.

Jordão, E. P. & Pessoa C. A. (2014). *Tratamento de Esgotos Domésticos*, 7ª edição, ABES, Rio de Janeiro-RJ, Brasil. 1087p.

Luduvise, J.S. (2011). Influência da Equalização da Vazão no Desempenho da Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Norte. *Monografia de Projeto Final*, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 46 p

McDuff, D. P., Chiang, W. J. W. (1972). “Physical/Chemical Treatment Design For Garland, Texas”, FORREST AND COTTON, INC. CONSULTING ENGINEERS. Texas, Dallas-Austin, USA.

Metcalf & Eddy (2016). “Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos”. *McGraw-Hill*. 5ª edição, revisada por George Tchobanoglous, Franklin Burton, H. David Stensel, Ryujiro Tsuchihashi Mohammad Abu-Orf Gregory Bowden William Pfrang. Porto Alegre, AMGH.

Nakazato, C. D. (2005). “Efeitos da Equalização de Fluxos Sobre o Desempenho da Estação de Tratamento de Esgotos de Brasília Norte - ETEB Norte” *Dissertação de Mestrado, Publicação MTARH.DM – 90/05*. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 170p.

NBR 9649 (1986). “Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário”, ABNT, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

NPTEL (2014) - National Programme on Technology Enhanced Learning. “*Pre-treatment & Physical treatment: Flow Equalization*”. Water Pollution Control by Physicochemical and Electrochemical Methods. Índia. Disponível em: < <http://nptel.ac.in/courses/103107084/20>> Acesso em 05 nov. 2015.

Reunião Ordinária da Agência de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá - Agência PCJ (2005), 14. “A problemática pela cobrança do uso da água – A questão da carga orgânica”. Americana-SP, Brasil. 11 de Agosto de 2005. Disponível em

<http://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=175:cobranca-federal-historico&catid=99:cobranca-federal&Itemid=108> Acesso em 05 nov. 2015.

Smith, J. M., Masse, A. N., Feige, W. A. (1972). “Upgrading Existing Wastewater Treatment Plants”, *National Environmental Research Center – Advanced Waste Treatment Research Laboratory*, United States Environment Protection Agency – USEPA, Ohio, Cincinnati, USA.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2013). Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2013. Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, DF. Brasil.

Tribunal de Justiça do Distrito Federal. Regiões Administrativas. Disponível em: <<http://www.tjdft.jus.br/cidadaos/juizados-especiais/saiba-sobre/circunscricoes-e-regioes-administrativas>> Acesso em 20 de novembro de 2015.

USACE (2001). “Pre-treatment Requirements”, *Engineering Manuals chapter 11*, Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, USA

USEPA (1999). “Combined Sewer Overflow Technology Fact Sheet - Retention Basins”, *Municipal technology branch*, United States Environment Protection Agency – USEPA, Washington, D.C., USA, 11p

USEPA (1979). “Evaluation of Flow Equalization in Municipal Wastewater Treatment”, United States Environmental Protection Agency – USEPA , Washington, Seattle, USA, 252p.

USEPA (1974). “Process Design Manual for Upgrading Existing Wastewater Treatment Plants”, *Technology Transfer*, United States Environment Protection Agency – USEPA, USA.

Von Sperling, M. (2014). “Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos”, *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Vol. 1 / 4ª edição*, UFMG Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte - MG, Brasil, 470p.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS EM APUD

Hazen & Sawyer (1966). “Relatório Sobre a Disposição de Esgotos”. São Paulo – SP.

Ulf, N., Andersson, B., e Aspegren, H. (1996). “Real Time Control for Minimizing Effluent Concentrations During Storm Water Events”, *Water Science & Technology*, **34**(3-4), 127-134, Malmö-Sweden